

REVISED EDITION

Copyrighted Material

"The prose, indeed, is exhilarating, and exhibits a passion to explain—humorously.... Wolf provides commendable explanations of visions and revisions of atomic models; he is fine, in particular, on the Uncertainty Principle....Enjoy the book for its bravura."
—Kirkus Reviews

TAKING THE QUANTUM LEAP

THE NEW PHYSICS FOR NON-SCIENTISTS







NATIONAL BOOK AWARD WINNER

FRED ALAN WOLF

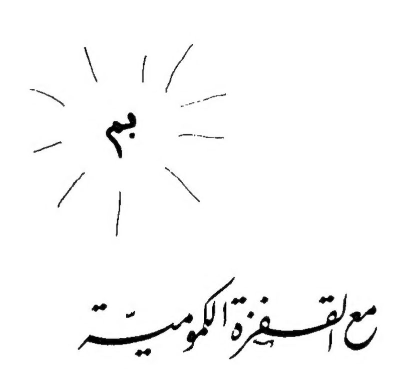
Copyrighted Material

دمشق : منطقة المزة (3) ـ حي الجلاء (5) شارع كعب بـن مـالك
(طلعة الإسكان سابقـــاً) بنـــاء رقـــم (2) ــ ص.ب : 16035
هاتف: 6618013 - 6618961 تلفاكس: 6618820 ـ برقياً: طلاسدار
E-mail:info@dartlass.com Website:www.dartlass.com

مكتبـة دار طـلاس ـ بـرج دمشـق ـ مقابـل وزارة الداخلية ـ هاتف: 2319558

ريـــع الـدار لهيئة مدارس
أبناء و بنات الشهداء في الجمهورية العربية السورية




بم
مع القفزة الكمومية

صدر هذا الكتاب بالتعاون مع المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بدمشق

الطبعة الثانية ـــ ٢٠٠٢

جميع الحقوق محفوظة لدار طلاس للدراسات والترجمة والنشر

الطبعة الأولى ١٩٩٤

تأليف
فريد آلان وولف
أستاذ في جامعة سان دييغو

ترجمة
أدهم السمان
أستاذ في جامعة دمشق

مع القفزة الكمومية

كتاب يفلسف الفيزياء الجديدة لغير العلميين
نال جائزة الكتاب الأمريكي

عنـوان الكتـاب باللغـة الانكليزيـة

Taking the Quantum Leap

The New Physics for Nonscientists

الآراء الواردة في كتب الدار تعبر عن فكر مؤلفيها ولا تعبر بالضرورة عن رأي الدار

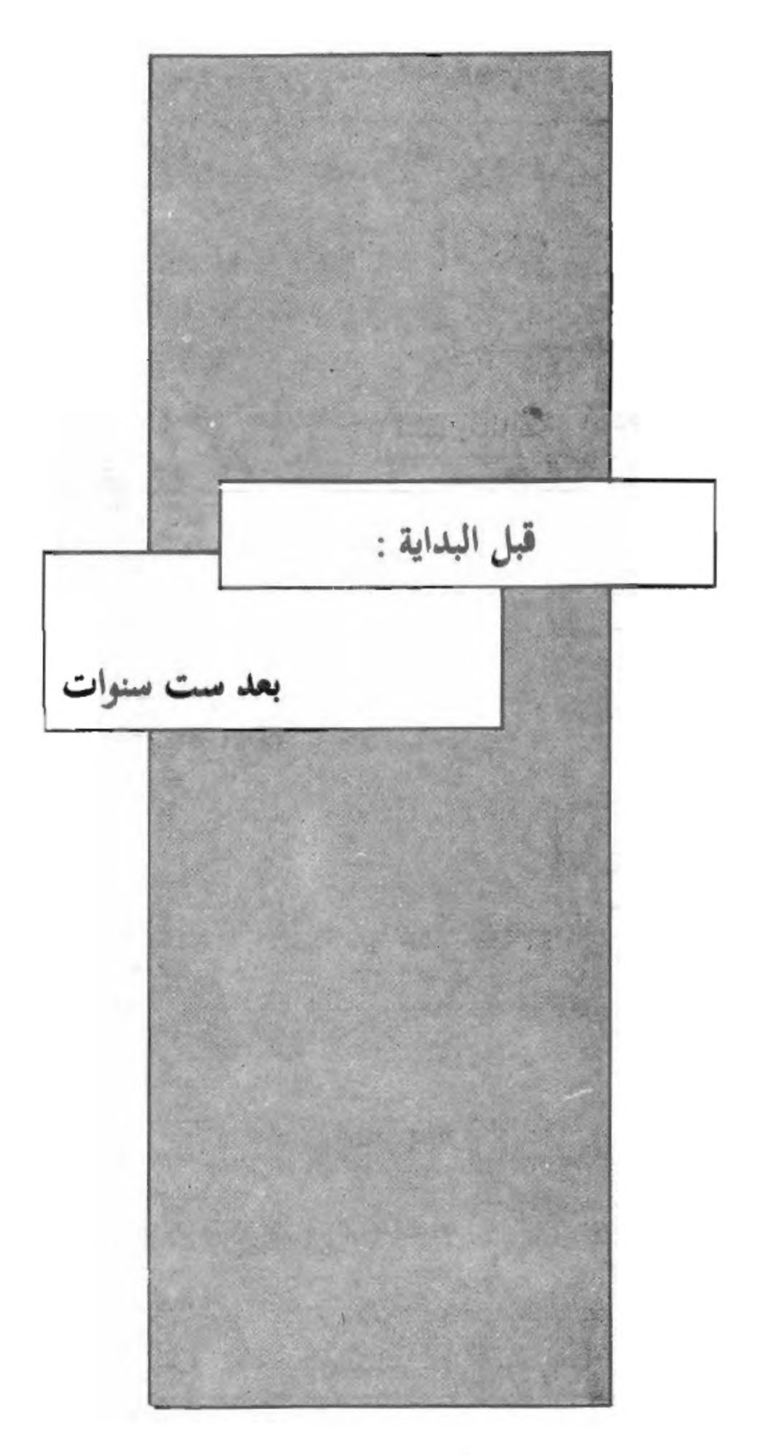
أعمال الدكتور أدهم السمان المنشورة

المؤلفات

- **الضوء الهندسي** : منشورات جامعة دمشق .
- **الكهرطيسية** : منشورات جامعة دمشق .

المترجمات

- **الأرض والسماء** : تأليف أ . فولكوف ، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي ، دمشق .
- **طبيعة قوانين الفيزياء** : تأليف ر . فاينمان ، طبعة ثانية ، منشورات مؤسسة الرسالة ، دمشق .
- **هكذا أرى العالم** : تأليف أ . أينشتاين ، منشورات وزارة الثقافة والإرشاد القومي ، دمشق .
- **الطبيعة في الفيزياء المعاصرة** : تأليف ف . هايزنبرغ ، منشورات دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، دمشق .
- **فيزياء وفلسفة** : تأليف ف . هايزنبرغ ، منشورات مؤسسة الرسالة ، بيروت .
- **تطور الأفكار في الفيزياء** : تأليف أ . أينشتاين و ل . إنفلد ، طبعة ثانية ، منشورات دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، دمشق .
- **المكان والزمان في العالم الكوني الحديث** : تأليف ب . ك . و . ديفيس ، منشورات مؤسسة الرسالة ، بيروت .
- **موجز تاريخ الزمن** : تأليف س . هوكنغ ، منشورات دار طلاس ، دمشق .
- **الأوتار الفائقة** : تأليف ب . ديفيس و ج . براون ، منشورات دار طلاس ، دمشق .



قبل البداية :

بعد ست سنوات

في كانون الثـاني / ينـاير من عام ١٩٨٦ اجتمع قرابة مئتي فيزيائي كمومي في مركز التجارة العالمية في مدينة نيويورك لقضاء أسبوع من الزمن مخصص للمناقشة في أمر معاني تلك النظرية الكمومية(*) العجيبة. كان هذا اللقـاء ، الذي حدث بعـد ست سـنوات من صـدور الطبعـة الأولى لهذا الكتاب ، دافعاً لإعداد هذه الطبعة الثانية العصرية . لقد ذكّرني هذا اللقاء بلقاء آخر قديم ــ أتحدث عنه في الفصل السابع ــ تم في عام ١٩٢٧ في فندق متروبول في بروكسل وضمّ كلاً من ألبرت أينشتاين ونيلزبور وماكس بـلانك ومـاكس بورن والسيدة كوري وإرفين شـرودنغر وبول ديراك ولوي دوبروي وهندريك لورنتز وفيرنر هايزنبرغ وولفغانغ باولي وعدة نجوم آخرين من علماء النظرية الكمومية المكتشفة حديثاً (قرابة ثلاثين) ، وجرى فيه نقاش حول هذا الموضوع نفسـه . لكن الأمور لم تتغير بحق في السنين التي تلت بخصوص الأساس الفكري الفلسفي لهذه النظرية .

لقـد غيَّب المـوت كل نجوم مؤتمر عام ١٩٢٧ ، وكان آخرهم لوي دوبروي الذي مات عام ١٩٨٦ عن عمر يناهز اثنين وتسعين عاماً . لكن الأعلام الجدد ليسوا بهذه الكثرة ، رغم أن نظرية الكم أصبحت شيئاً لاغنى عنه في القرن العشرين .

لقد تم عقد المؤتمر الثاني تشريفاً لواحد من « كبار الشيوخ » في الميدان الكمومي الحالي ، أوجين فيغـنر **E.Wigner** الذي قدَّم موهبتـه وبصـيرته ، ولكن دون أن يقدم سيكاراً لأحد . إن السر القديم ما يزال سراً . وما تزال قطة شرودنغر معلقة بين الحياة والموت في صندوق ربما كان ، أو لم يكن ، قد امتلأ بغاز السيانيد القاتل . كما أن موجة (تابع) الاحتمال الكمومية (الـ تمك **qwiff**) ما تزال متفشيـة في الفضـاء بانتظار راصد مفاجىء « يلمُّها » ــ فيغير الاحتمال ويخلق حقيقة واقعية **reality** مرصودة .

(*) تقنيات وأفكار جديدة في نظرية القياس الكمومية ، عُقد برعاية أكاديمية نيويورك للعلوم ، من ٢١ إلى ٢٤ كانون الثاني ١٩٨٦ ، في مدينة نيويورك .

وما زال أيضاً « صديق فيغنر » يتساءل عما إذا كان هو ، أم الأستاذ الذي يرصده والمنظومة الكمومية التي بين يديه ، قد « لمّ التمك » وخلق الحقيقة التي استمتع بها عندما رصد المنظومة نفسها . كما أن مفارقة paradox الحقيقة الواقعيــة ، التي ذكرها أينشتـاين وبوريس بودولسكي B.podolsky وناتان روزين N.Rosen ، ما تزال تحير عقول الجميع لدى جمهور من يتساءلون عما إذا كان ميكانيك الكم كاملاً أم ناقصاً ، وعن النظرية الغريبة التي قد تكون لازمة لإتمامه .

هذا ورغم أن جون بِل J.Bell لم يكن حاضراً إلا أن روحه كانت تهيمن على الحاضرين من خلال صدى نظريته الذي كان ينتشر في قاعة المؤتمر بأسـرع من الفوتون . وقد بزغت نجوم جديدة عرضت آراءً مبتكرة لم تكن لتقود إلا إلى مزيد من الأسرار .

لقد ذكّرني مدير الجلسـات ، دانييل غرينبرغر D.Greenberger ، بلورنتز الذي جمع مؤتمر سُلفي ١٩٢٧ Solvay (اسم الثري الصناعي الذي موّل المؤتمر) في بروكســل حين أعلن أينشتاين أنه لم يتأقلم بحق مع هذه القضيــة الكموميــة . وقد قال غرينبرغر إن مؤتمر عام ١٩٨٦ هو أول لقاء شامل حول ميكانيك الكم يُعقد في الولايات المتحدة منذ زمن طويل جداً . لكنني أظن أن هذا المؤتمر هو الوحيد من نوعه منذ عام ١٩٢٧ .

في خطاب التقديم بيّن غرينبرغر أن نظرية الكم تتعارض ، على صعيد الحقيقة ، مع النظرية العلمية الشائعة قبلها . كان من المتوقع أن تشهد عقود السنين الستة بين المؤتمرين ظهور براهين تجريبية مبتكرة تلقي الضوء على ظواهر جديدة لا يمكن إدخالها في إطار النظرية القديمة . لكن الأمر ليس كذلك بتاتاً في حال النظرية الكموميــة . ذلك أن التجارب الجديدة قد أثبتت أن هذه النظرية لم تزل صحيحة رغم أن مغزاها ما يزال موضع جدال . إن نظرية الكم نظرية صائبة وفيها حتى اليوم من العجب العجاب ما كان فيها منذ نشأتها .

عندما كنت طالباً أدرس ميكانيك الكم كان يوجد ، مما سماه أينشتاين « تجارب ذهنية » ، بضعةُ أمثلة نموذجية توضح غرابة هذه النظرية . كانت قطة شرودنغر واحداً منها . كنا في تلك الأيام طلاباً نجلس في أقصى القاعة نصغي إلى الأستاذ وهو يشرح هذه المفارقة ويبتسم في سرنا ، « ما أسخف

هذه الأمور »(*) . ونادراً ما كنا نتوقع أن تظل هذه القطة ، بعد ثلاثين عاماً ، حيـة ــ أو غير حيـة ــ في تجارب أجريت في مختبر أبحاث الشركة IBM مستخدمة وسائل تجريبية تستغل الناقلية الفائقة superconductivity .

يوجد في هذه التجارب ، بدلاً من « القطة في الصندوق » ، قليل من التدفق المغنطيسي محصور في أنبوب . لكن ذلك لم يكن فقط «قطعة صغيرة » من المغنطيسية . بل كان مقداراً محسوساً ، كان شيئاً يمكن إدراكه في عالم إحساساتنا اليومية العادية .وكالقطة التي « يجب » أن توجد في عالم شبحي تكون فيه حية وميتة في آن معاً ، كان على قطعة التدفق هذه أن توجد في وقت واحد في كلتا جهتي حاجز معين إلى أن يقيِّض الله لها راصداً يلقي عليها نظرة خاطفة وبذلك « يلمُّها » فيختصرها ــ كما في شأن القطة ــ إلى هذه الجهة فقط من الحاجز أو تلك .

كان هذا الموضوع بالذات ، أي إدراك هذه العجيبة الكمومية ، واحداً من موضوعات المؤتمر الرئيسية ــ الشيء الذي كنا نتفكه به ونحن طلاب جامعيون ولم نكن نحلم قط بأن يصبح حقيقة واقعة . فبدلاً من العثور على ميكانيك كمومي مقصور دوماًعلى مجالات صغيرة من هذا العالم وجدنا ، نحن الفيزيائيين ، أنه قابل للتطبيق في مجالات متزايدة الاتساع من المكان والزمان المجاورين لنا .

وهكذا ، وبعد السنوات الست التي انقضت بعد الطبعة الأولى لهذا الكتاب ، أصبح ميكانيك الكم أكثر جدارة بالاهتمام من ذي قبل . ولئن سُمِّي عصرنا بعد عام ١٩٤٥ بـ« العصر الذري » ، فإنني أعتقد أننا في مدخل عصر جديد . إننا نعيش في عصر يجدر بنا أن نسميه بحق « العصر الكمومي » . وما على من يرغب في رؤية عدة نماذج من هذا العصر سوى أن يتطلع إلى منجزات التقانة الحديثة . فلا مجال ، مثلاً ، لاقتناء جهاز تلفزيوني شغَّال دون أن يلعب كم الفعل الصغير لعبته . إننا نعيش في عصر يصفه الفنان

(*) إنني على يقين من أن قارىء هذا الكتاب للمرة الأولى سيتساءل عن شأن هذه القطة الشهيرة ، لكنه يستطيع إذا شاء أن يستبق القراءة فيقفز إلى الفصل الحادي عشر ليعرف كل شيء عنها .

الموهوب لوري أندرسون L.Anderson بأنه « إصبعي digital »[*] . وهذا يعني أن « الآلة » الكمومية إما أن تكون « شغالة » أو أن تكون « غير شغالة » . فإما أن يحدث الشيء كله وإما أن لا يحدث بتاتاً ـــ أي أن كَمَّ الفعل يكون « صفراً » أو « واحداً » ولا شيء بينهما .

وكلمة أخيرة بخصوص ما أضفتُ في هذه الطبعة . لقد أضفتُ فصلاً كاملاً ـــ الخامس عشر . وفيه مزيد من الكلام عن اكتشافين جديدين حصلا بعد الطبعة الأولى . وبما أنني أكثرُ اهتماماً بالأفكار الجديدة فقد أسهبت في الحديث عن فهمنا لهذه الأفكار . وكعادتي ، سوف أحاول أن أشرح هذه الأفكار بما يتيح فهمها حتى لأقل القراء إلماماً بهذا العلم المعقد . ولا أملك سوى أن أخبركم بأن القسم الأعظم من هذه الأفكار ينتمي إلى مفهومي الزمان والمكان ، ذلك الزمكان الذي أثبت أينشتاين أنه ليس كما تعودنا عليه . فقد يوجد في هذا الكون ، على ما يبدو ، عوالم موازية « خارجية هناك » سيكون علينا أن نستطيع استكشافها ؛ وقد يكون المستقبل ، حتى في هذا العالم ، كفيلاً بأن يغير مفاهيمنا عن الحقيقة نفسها . هذا وإذا كنتَ قد قرأت من قبلُ الفصول الأربعة عشر في الطبعة الأولى فلا تقلق ، لأنها تطابق هذه حرفياً . ومع ذلك فإن الفصل الخامس عشر جديد وربما أغرب مما قبله . أما ما سوف تُفرزه هذه الأفكار الجديدة فلا أحد يعرف عنه شيئاً . لكن لابد لغرابة هذه الأفكار من أن تتناول العالم الشائع الذي نعيش فيه كلنا . بيد أن الغد صار هنا اليوم ، وإذا اتضح أن هذه الأفكار عن الزمان والمكان صحيحة فقد نشهد عصراً من المعجزات عند منقلب هذا القرن للدخول في القرن الحادي والعشرين .

فريد آلان وولف

سان ميغيل دي ألّندي ، مكسيكو

كانون الأول / ديسمبر ١٩٨٧

(*) المقصود هنا من صفة « إصبعي » ، كما يتضح من الشرح الذي يسوقه المؤلف ، أحد الوضعين الذي تتخذه الإصبع : فهي إما مطوية وعندئذ تعني « لا شيء » أو « الصفر » ، وإما مفتوحة وتعني « شيئاً » أو « الواحد » ولاشيء آخر بينهما . وهذا مبدأ يعتمد عليه صنف من الآلات الحاسبة التي يرى المختصون فيها تسميتها « رقمية » . (المترجم) .

مقدمة

إن عبارة « القفزة الكمومية » الواردة في عنوان هذا الكتاب يجب أن تُفهم بكلا المعنيين : الحرفي والمجازي . إنها ، بمعناها الحرفي ، قفزة جد صغيرة ، لكنها فجائية ، يعانيها كل جسيم مادي في حركته من مكان لآخر . وعبارة « الفيزياء الجديدة » ـــ الفيزياء الكمومية ـــ تدل على أن كل الجسيمات التي يتألف منها العالم المتجسد يجب أن تتحرك بهذا الأسلوب وإلا فقدت وجودها . وبما أننا ، أنت وأنا ، مصنوعان من ذرات مادية وما دونها صغراً ، فلابد لنا ، نحن أيضاً ، من « ركوب القفزة الكمومية » .

وركوب القفزة الكمومية ، بمعناها المجازي ، ينطوي على بعض المجازفة ، أي أن نرحل إلى أرض مجهولة لا دليل فيها نتبعه . ومثل هذه المغامرة عملية غير مضمونة العواقب في أحسن الأحوال . وهذا يعني أيضاً المخاطرة بشيء لا يجرؤ أي امرىء آخر على أن يخاطر به لكننا ، أنت وأنا معاً ، أردنا أن نخوض أمثال هذه المغامرة . فأنا قد تجرأت على كتابة هذا الكتاب وأنت ، غير الفيزيائي ، تجرأت على شرائه كي تقرأه . كان زملائي قد حذروني من استحالة النجاح في هذه المهمة . فقد قالوا لي إن « ما من أحد يستطيع فهم الفيزياء الكمومية بدون زاد رياضي متين » .

هذا لأن القفزة الكمومية كانت أيضاً عملية غير مضمونة العواقب حتى لدى العلماء الذين اكتشفوا كوامن ميكانيك الكم . كان الارتياب في نتائجه حرفي المعنى . ذلك أن القفزة الكمومية ليست ، لدى الجسيم الذري ، عملية مضمونة النتيجة . إذ لا يوجد وسيلة تُعرف بها ، بيقين مطلق ، حركاتُ مثل هذه الجسيمات المادية الدقيقة . وهذا في الواقع يقود إلى قانون جديد في الفيزياء يعرف باسم **مبدأ اللاحتمية** . لكن أمثال هذا القانون الجديد محفوفة بالمخاطر ؛ والمخاطرة تسيء إلى

حصافة العلميين واعتدادهم بأنفسهم . وقد أسفرت الفيزياء الجديدة عن وجه غير مألوف ، عن عالم سحري . وكشفت للعلماء معنى جديداً لكلمة نظام Order . لم يُعثر على هذا النظام الجديد ، الذي هو أساس الفيزياء الجديدة ، في دنيا الجسيمات المادية بل في عقول رجال العلم .

لقد عنى هذا للفيزيائيين وجوبَ التخلي عن أفكارهم المصنوعة سلفاً بخصوص العالم الفيزيائي . والآن ، وبعد مرور زهاء ثمانين عاماً على اكتشاف الطبيعة الكمومية للمادة ، ما يزال الفيزيائيون مضطرين إلى إعادة النظر في كل ما كانوا يعتقدونه شيئاً مقدساً . وما يزال في جعبة عالَم الكموم مفاجآت مثيرة .

يعرض هذا الكتاب تاريخ ومفاهيم الفيزياء الجديدة التي تسمى **ميكانيك الكم** .ويرسم صوراً مجازية لأكثر المفاهيم تجريداً ، المفاهيم المتأصلة في عمق الخبرة الشائعة . وبهذه الطريقة يصبح الحرفي مجازياً . ومن خلال السرد يبرز تسلسل التاريخ والمفاهيم المجازية . وبذلك آمل أن أصل حتى إلى أقل قرائي إلماماً بالرياضيات .

لنضرب على ذلك مثلاً . لقد اكتشف الفيزيائيون الكموميون أن كل عملية رصد يجريها الفيزيائي على ذرة ما تشوش هذه الذرة . كيف ؟

تصور أنك دُعيت إلى شرب الشاي وأنك فوجئت بأقزام صغيرة يقومون بالخدمة ! سيترتب عليك أن تطوي جسدك كي تدخل في بيتهم القزمي الصغير . أهلاً بك على كل حال . انتبه إلى رأسك ــ إن السقوف ليست عالية جداً . انتبه إلى خطاك أيضاً ــ إن الأقزام لا يحتاجون إلا لأثاث صغير يجلسون فيه . حذار ...آه ، فات الوقت . لقد سحقت فنجاناً قزماً بأصابعك فلم يعد فنجاناً .

إن ما حدث في بيت الأقزام هذا يماثل ما يحدث في التعامل مع عالم الذرات وما دونها من الجسيمات صغراً ، مع خلاف إضافي واحد هو أنك في كل تعامل مع هذا العالم ، مضطر إلى أن تفتح باباً أو صماماً ، وبهذه العملية تُشوش هذا البناء الهش الصغير لدرجة أن يظهر في حالة فوضى كاملة .

زد على ذلك أن الأمر لا يقتصر على صغر الأقزام ، بل هم أيضاً مزاجيون جداً . سِر ضمن بيتهم وأنت تحمل لوحاً على كتفك ، أو هب أنك اضطررت إلى أن تحك جلدك قليلاً ، سترى عندئذ أن هؤلاء الناس يتصرفون معك بفظاظة ظاهرة . ولكن إذا ابتسمت وتصرفت بلطف يكونون حميمين ودودين . وحتى إذا لم تنتبه إلى مشاعرك نحوهم فإنهم منتبهون . وهكذا فأنت ، عندما تغادر منزلهم الصغير ، يمكن

أن تكون قد قضيت وقتاً ممتعاًأو وقتاً مزعجاً ، وهذا دون أن تدرك مدى مسؤوليتك عن تلك النتائج .

وإذا أضفت الآن أن كل ما تستطيع مشاهدته لا يتعدى نتائج تلك الأعمال (أي فتح أبواب البيت القزم وإغلاقها وتشويش البيوت القزمة وكسر الفناجين ، إلخ) عندئذ تبدأ تتساءل عما إذا كان ما شاهدته بيتاً قزماً عادياً بالفعل أم شيئاً غير ذلك تماماً . والأرصاد في عالم الذرات تظهر على نفس الدرجة من الغرابة إلى حد كبير . فأبسط محاولة لرصد ذرة ما تُسبب في هذه الذرة تمزيقاً يستحيل علينا معه أن نرسم للذرة صورة حقيقية موثوقة . وهذا ما دعا الفيزيائيون إلى التساؤل عما تعنيه الصورة المعتمدة اصطلاحاً للذرة . هذا لدرجة أن بعضهم يعتقدون اعتقاداً راسخاً بأن الذرات لا توجد إلا عندما نرصد وجودها ككرات صغيرة ضبابية .

لقد استنبط الفيزيائيون ميكانيك الكم من خلال ما لقوا من صعوبات في محاولات توصيف عالم الأشياء الدقيقة كالذرات والإلكترونات (الإلكترونات جسيمات صغيرة خفيفة مصدرها الذرات وتحمل شحنة كهربائية) . وليس اكتشاف الفيزياء الجديدة سوى حكاية مغامرتهم في عالم المادة والطاقة السحري . كانت محاولاتهم تشتد صعوبةًلأن كل اكتشاف جديد كان يجلب معه مفارقات جديدة . كان عدد هذه المفارقات ثلاثاً .

المفارقة الأولى هي أن الأشياء تتحرك دون أن تتبع قانون الحركة الميكانيكية . كان الفيزيائيون قد اعتادوا على بعض الأفكار بخصوص أسلوب حركة الأشياء . كانوا مؤمنين بالصورة التي يرسمها ميكانيك نيوتن ، أي الميكانيك التقليدي لحركة المادة . كانت الحركة في هذه الصورة سلسلة استمرارية من المواقع المتواصلة . كان الجسم يتحرك مثل « سيل » يذهب من نقطة لأخرى .

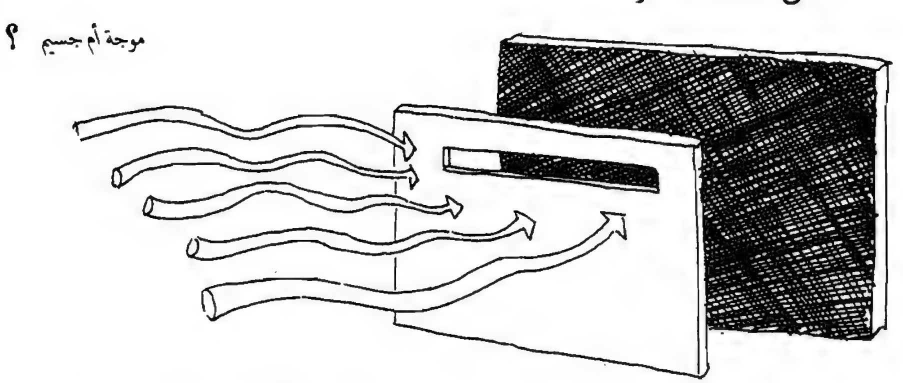
لقد أخفق ميكانيك الكم في تعزيز هذه الصورة . فقد دل على أن الحركة ربما لا تحدث بهذا الأسلوب ، بل إن الأشياء تتحرك بشكل تقطعي . إنها « تقفز » من نقطة لأخرى دون جهد على ما يبدو ودون جلبة بين النقطتين .

المفارقة الثانية تناولت النظرة التقليدية إلى العلم المعتمدة على أساس أنه عملية مرتبة معقولة ترصد الطبيعة وتصف المرصود بشكل **موضوعي** Objective . كانت هذه النظرة تعتمد على القناعة بأن كل ما يُرصد على أساس أنه موجود « هناك خارج » عملية الرصد هو فعلاً كذلك . كان خلوُّ العلم من الموضوعية فكرة

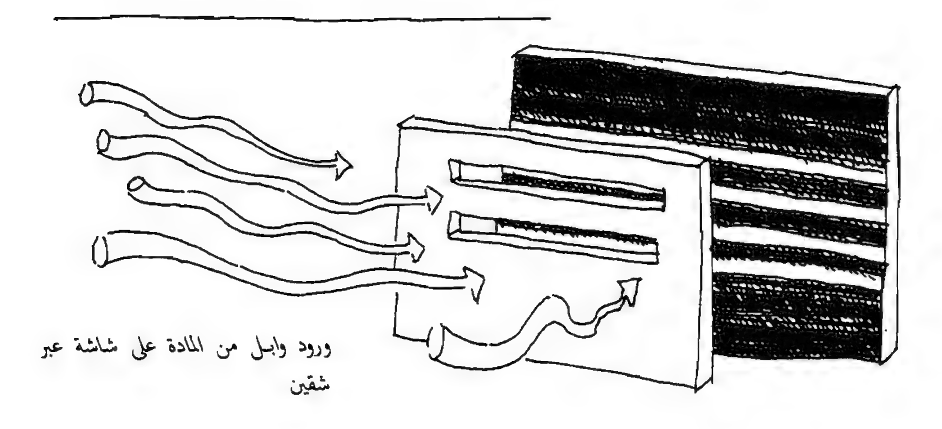
لا يستسيغها أي امرئ عاقل ، لا سيما إذا كان فيزيائياً .

لكن ميكانيك الكم يشير إلى أن المرء الذي تعوَّد على رصد الطبيعة في مستواها الذري « يخلق » ويحدد ما يراه . وذلك على غرار ما يشاهده عندما ينظر إلى الضوء من خلال مرشحات ملوَّنة . فلون الضوء يتوقف على لون المرشح المستعمل . وفي ميكانيك الكم لا توجد وسيلة للتخلص من المرشحات . والفيزيائيون لا يعرفون ماهية هذه المرشحات . حتى أن أكثر الأفكار أساسية عن المادة ، كمفهوم « الجسيم » ، يتبين أنها عصية على الفهم إذا افترض المرء أن للجسيم خصائص مستقلة تماماً عن الراصد . لأن ما يشاهده المرء يتعلق بما اختار أن يرصده .

ولئن كان هذا القول يبدو ، بحد ذاته ، خالياً من المفارقات ، فإن الصورة الكاملة للشيء المرصود ، كما ترسمها مجموعة الأرصاد ، تظهر عديمة المعنى . ولنضرب على ذلك مثلاً آخر .



ورود وابل من المادة على شاشة عبر شق واحد



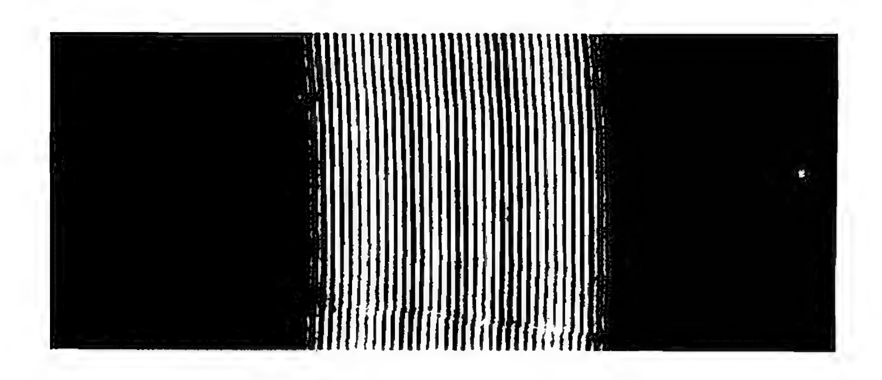
ورود وابل من المادة على شاشة عبر شقين

في تجربة مشهورة باسم **تجربة الشق المضاعف** يندفع سيل من الجسيمات نحو شاشة . يوضع بين الشاشة ومنبع الجسيمات حاجز فيه شقان ضيقان متوازيان . بهذه الطريقة يضطر الجسيم الذي سيتيسر له الوصول إلى الشاشة أن يمر عبر أحد الشقين . وكل جسيم يصل إلى الشاشة يترك عليها بصمة أو بقعة صغيرة سوداء . والأمر المذهل هنا هو أنك إذا أغلقت أحد الشقين تجد أن عدد الجسيمات التي تصل إلى مناطق معينة من الشاشة أكبر من عدد الجسيمات التي كانت تصل إلى المناطق نفسها عندما كان الشقان كلاهما مفتوحين . لاتوجد طريقة لفهم هذه المفارقة إذا اعتبرت أن ذلك السيل مؤلف بكل بساطة من جسيمات صغيرة . إذ كيف يتسنى للجسيم أن يعلم بوجود شق آخر ، مفتوحاً كان أم مغلقاً ؟ وما دام لكل جسيم خيار في عبور أحد الشقين ، فإن له فرصتين في بلوغ أية نقطة من الشاشة . وهذا يعني ، عندما يكون الشقان مفتوحين ، أن تصل الجسيمات إلى كل مناطق الشاشة بوتيرة أكبر . لكن هذا ليس مانراه . بل إن مانراه ، عندما يكون الشقان مفتوحين ، هو أن الجسيمات تحاشت الورود على مناطق معينة من الشاشة فظلت هذه المناطق بيضاء فارغة من الجسيمات .

إن إغلاق أحد الشقين لا يترك للجسيمات سوى طريق واحد . لكنها مع ذلك تتدبر أمرها كي تَرِدَ على تلك المناطق التي كانت بيضاء فارغة ، بين المناطق السوداء ، وهذا يحدث فوراً لحظة إغلاق أحد الشقين . لماذا تتحاشى الجسيمات بعض مناطق الشاشة عندما يكون كلا الشقين مفتوحين ؟ هل هي « واعية » لوجود الشقين ؟ لا يوجد للجسيم صورة معقولة تفسر سلوكه العجيب هذا عندما يوضع أمام خيارين . ربما كان الطريقان المتاحان لكل جسيم ، عبر هذا الشق أو ذاك ، يتداخلان معاً وينفي كل منهما الآخر . أو ربما كانت الجسيمات في السيل تتراطم بعضاً ببعض بعد أن تعبر الشقين .

كلا ، إنها لاتتصرف بهذا الشكل . إذ يمكن أن نتحكم بالجسيمات بما يجعلها ترد فرادى على لوح الشقين ، أي واحداً فقط في كل ورود . ومع ذلك نجد أن كل واحد منها يتحاشى المناطق البيضاء على الشاشة عندما يكون الشقان مفتوحين . ربما كان هناك طريقة أخرى لتفسير هذه التجربة .

نعم ، هناك طريقة . إن الجسيمات ليست جسيمات حين تمر عبر الشقين — إنها موجات . والأمواج تتداخل فعلاً بعضاً مع بعض . والواقع أننا إذا منحنا كل جسيم طولاً موجياً ، وأخذنا بالحسبان تداخل الأمواج ، نستطيع أن نفسر تماماً



صورة تداخل ناجم عن إلكترونات تصل إلى شاشة عبر شق مضاعف

حصول المناطق البيضاء . وهذا يعني حتماً وجود خطأ في الصورة الأولى التي لدينا عن الجسيمات . إنها ليست « جسيمات » بتاتاً . إنها موجات .

كلا ، إن هذا ليس صحيحاً هو الآخر . فهذه الموجات ، عندما ترد على الشاشة ، لا تحتل كل مكان فيها دفعة واحدة كما يجدر بالموجة العادية أن تفعل ؛ بل إنها ، بدلاً من ذلك ، تصل على شكل بقع نقطية متوالية . فهذه « الموجات » هي إذن جسيمات في واقع الأمر .

جسيمات أم موجات ؟ أيهما الصورة الصحيحة ؟ إن الجواب يتعلق بالجزء الذي نجريه من التجربة . ففي حال شق واحد مفتوح يكون السيل سيل جسيمات . وعندما يكون الشقان مفتوحين يكون السيل مؤلفاً من موجات . فالطبيعة الفيزيائية لسيل « الجسيمات » منوطة بكيفية إجراء التجربة .

وهذا ما يقودنا إلى المفارقة الثالثة الكامنة في الفيزياء الجديدة : بالرغم من الاضطراب الطبيعي الظاهر في هذه التجربة وسواها ، ينبىء ميكانيك الكم عن وجود نظام في هذا العالم .لكنه ، بكل بساطة ، ليس النظامَ الذي كنا نتوقعه . حتى أن من الصعب معرفة الأوصاف الصحيحة لهذا النظام لأن ذلك يقتضي شيئاً يتجاوز عالمَ الفيزياء . إنه شيء يمسنا نحن ، يمس عقولنا ويمس أفكارنا . فكيف التقت الفيزياء وعقولنا معاً ؟ ذلك هو السؤال الذي يثور حوله الجدل . إن الاكتشاف التدريجي بأن ما نفكر فيه يمكن أن يكون له تأثير فيزيائي فيما نرصده أدى إلى ثورة في التفكير والفلسفة ، ناهيك عن الفيزياء .

يظهر أن ميكانيك الكم ينطوي على أوصاف نظام عالمي يتضمننا نحن البشر بطريقة خاصة جداً. والواقع أن عقولنا يمكن أن تدخل في الطبيعة بشكل لم يكن يخطر لنا ببال. فالتفكير بأن الذرات قد لا يكون لها وجود بمعزل عمن يرصدها فكرة أراها مثيرة جداً. فهل هذا الواقع الذي يخص الذرات يسود أيضاً في ميادين العلم الأخرى ؟ ربما كان الكثير مما نظنه حقيقة واقعة ليس أكثر من شيء تحدده أفكارنا. وربما كان مظهر العالم الفيزيائي سحرياً، لأن إجراءات العلم في هذا النظام أغفلت أخذ الراصد في الحسبان. وقد يكون نظام العالم نظامَ عقولنا نحن.

القسم الأول

أهلاً بالآلة



الفصل الأول

الراصد الحيادي

أنا أفكر . أفكر فأكون .

فهل أنا كائن لمجرد أنني أفكر ؟

The Moody Blues

«من رأى الريح؟»: سؤال طرحته الشاعرة كرستينا روسيتي. «لا أنت ولا أنا». ومع ذلك نعتقد كلانا أن الريح موجودة . وفي هذا السياق لم يشاهد أحد قط جسماً عنصرياً ، ومع ذلك يعتقد الفيزيائيون اعتقاداً راسخاً بوجوده . لكن تمسكهم بهذا الإيمان أجبرهم على التخلي عن أفكار ثمينة جداً بخصوص العالم الفيزيائي ، عالم المادة والطاقة . فبماذا خرجوا من مغامراتهم المضنية في عالم الصغائر ، عالم الذرات والجزيئات والجسيمات العنصرية الأخرى ؟ لقد خرجوا منها بميكانيك الكم . والذي اكتشفوه باستخدام ميكانيك الكم غدا صورة جديدة لهذا العالم : صورة يؤثر فيها الراصد بالمرصود .

إن جذور ميكانيك الكم ، علمِ الحركة الجديد ، تضرب في أرض قديمة ، أرض وعينا المبكر لكيفية حركة الأشياء . وحتى قبل ذلك ، وقبل أي وعي للحركة ، كان قد نبت من هذه الجذور عشبة صغيرة هي فكرة الراصد . وضمن هذه الفكرة رأي يقول بحياد الراصد ، أي بعدم تأثيره بالمرصود . والناس مخلوقات العين ، إنهم يعتقدون بما يرون .

وقبل أن تتم عملية الرصد العلمي يجب على المرء أن يتعلم الرصد ، أن يفصل بين الأشياء ؛ وقد استغرق هذا العمل زمناً طويلاً . كانت أرصاد البشر الأولين حيادية تماماً دون تمييز . وقد بدؤوا برصد وجودهم كشيء منفصل . ثم تطلعوا حولهم فرصدوا أشياء غير أنفسهم . وبالتدريج امتدت أرصادهم وتواصلت ، وكان لها أحياناً نتائج أليمة . ولم يكن العالم « الخارجي هناك »ودوداً على الدوام . ولدى ازدياد شكوكنا بدأنا نلمس الأشياء ونحللها ، وخصوصاً إذا كانت غير مؤذية . كانت تلك هي الأرصاد الفاعلة أو التجريبية .

كانت أرصادنا الأولى تتناول ، على الأرجح ، الأجسام المتحركة ، كالعشب المتماوج مع الريح أو الغيوم السائرة في السماء . وفي الليل رأينا النجوم ... وتفكرنا فيها ؛ وفي أوقات فراغنا راقبنا الشمس وهي تقوم برحلتها في رحاب السماء متبعة مساراً يشبه كثيراً مسارات النجوم في سماء الليل . وربما التقطنا حجراً وقذفناه .

كانت الحركة تلفت أنظارنا وتنبئ عن أسرار خفية في نظام الأمور . النار تصعد نحو السماء ، والمادة تظل قريبة من الأرض . الهواء يعلو على الماء والماء يسقط على الأرض حيث يطفو أيضاً على سطحها .

عندما تكون الأشياء في غير مواضعها الطبيعية ، فإنها تأخذ بالحركة باحثة عن الأمكنة التي أتت منها . فالنار جاءت من النجوم ، مثلاً . وعندما دخلنا ، نحن البشر ، في مسرح الأحداث أحدثنا خللاً في مسيرة الطبيعة ، أي في الحركة الاستمرارية التي تقوم بها الأشياء نحو أماكنها الخاصة . فمن عمليات الرصد الحيادي نتعرف دون شك بعض أسرار الطبيعة . ولكننا عندما نمسها لا بد أن نزعزعها فلا نعلم عما كانت عليه شيئاً .

لكننا نستطيع أن **نتفكر** في الحركة . نستطيع أن **نتخيل** كيفية حدوثها . ونستطيع حتى أن نصنع نماذج للحركة ، فنتخيل حركة السهم المارق وكأنها سلسلة أسهم متعاقبة في المكان يتصل رأس كل منها بذيل السهم الذي يليه ، أو صورٌ متوالية في شريط سينمائي .

هذه الأفكار والأرصاد الأولى كانت جذور علم الحركة الحديث ، عالم ميكانيك الكم السحري .

فجر الوعي البشري

ليس صعباً أن تعود القهقرى في التاريخ إلى أبكر المحاولات البشرية في الرصد . يكفي أن ترصد طفلاً حديث الولادة . فعندما تراقب محاولات الرضيع لوضع إصبعه أمام عينيه ـــ إنه في الواقع يسعى إلى الفهم ـــ تكون شاهداً على محاولات رصد بشري . لقد أصبح العقل يعي أوليات التقسيم بينه وبين العالم الخارجي .

من هنا انطلقت عملية التفكير . إنها عملية صامتة . وقد قال أينشتاين مراراً إنه استوحى أحسن أفكاره من الصور لا من الكلمات . والواقع أن أينشتاين لم يتكلم حتى بلغ الرابعة من عمره .

ربما كان الطفل يقوم بعملية تحليل أو تركيب تحصل في ذهنه . وقد يربط الطفل بين الأصوات التي تصدر عن أمه وبين الأشياء التي يشاهدها . وعلى كل حال لا بد أن يحدث في ذهن الطفل تمييز ما ، ذلك التمييز ـــ فصْل « الخارجي هناك » عن « الداخلي هنا » – الذي يدَّعي **تمييز الذاتي عن الموضوعي** .

يصبح الراصد واعياً بمجرد أن يشعر بأوليات هذا التمييز . إن الوعي يعني الانتباه ، والانتباه الأول يتجه إلى فكرة « أنا أكون » . وعندما يتحسس هذه الـ « أنا » يعلم الراصد أن « أناه » ليست إصبعه ولا قدمه . إن الخبرة بـ « الداخلي هنا » كانت الـ « أنا » . أما الخبرة بـ « الخارجي هناك » فكانت « هو ».

ونحن اليوم نصنع هذا التمييز دون عناء . وإليك هذا المثال . انتبه إلى إبهام يدك . إنك تستطيع أن تحس به أو ، خيراً من ذلك ، تستطيع أن تشعر بوجود إبهامك . انتبه بعدئذ إلى كعبك الأيسر . ومرة أخرى تستطيع ، بالفكر وحده ، أن تحس بكعبك .. والواقع أنك تستطيع أن تشعر ، بهذه الطريقة ، بأي جزء من أجزاء جسدك . فانت لست بحاجة إلى ان تتحسس مادياً (فيزيائياً) أجزاء جسدك بيدك . بل إنك قادر على أن تشعر بها كلها بذهنك .

وبمجرد أن تفعل ذلك تدرك أنك لست الشيء الذي تُحسه . ويمكنك أن ترى في هذه الممارسة حركة وعيك أو انتباهك ، من عقلك إلى الجزء الجسدي منك . ومن هنا يتوطد تقسيم معين ، تقسيم يتميز بموجبه « الدخلي هنا » عن إبهامك أو كعبك . وهذه الخبرة بـ « الداخلي هنا » ضرورية قبل أن تحصل أية عملية رصد حقيقي . والرصد كله يتعامل مع « الخارجي هناك » .

من المظنون أن الناس ، قبل ثلاثة آلاف عام أو أكثر ، لم يكونوا قادرين على إجراء تمييز واضح بين « الخارجي هناك » وبين « الداخلي هنا » أو الخبرة بـ « أنا أكون » . ربما كان لديهم شعور غامض بقدرتهم على إجراء هذا التمييز . ولكنهم لم يكونوا يعون « الأنا » .

يدّعي جوليان جينز J. Jaynes ، في أحد كتبه عن أصل الوعي ، أن أجدادنا كانوا ، قبل حوالي ثلاثة آلاف عام ، قد مارسوا أوليات « الانقسام العصبي Nervous breakdown » . وعندئذ أصبحوا يعون أنفسهم على أساس أنهم أصحاب « أنا » وخف شعورهم بأنهم آلات تتبع أصوات « آلهة » في رؤوسهم . ويرى جينز أن نصفي العقل ، ذي الحجرتين Bicameral ، يعملان شبه منفصلين . لكن عندما تم الانقسام اختفت الأصوات وصارت الكائنات البشرية تعي أنفسها على أساس أنها كائنات مستقلة .

من هذه اليقظة البدائية اكتسب البشر وعياً جديداً لما يحيط بهم . لكن عصر الإغريق الأوائل لم يبدأ إلا بعد خمسمئة عام من الانقسام الذي يتكلم عنه جينز . وعندئذ لم تعد « الأصوات الإلهية » تحكم الوعي البشري ؛ لكن من المحتمل أن بعض بقايا العصور السالفة ظل صداها يتردد في رؤوس الإغريق . بدأ الإغريق يرصدون بحماس كل شيء يرونه . ولكنهم ، بسبب خوفهم من « الخارجي هناك » ومن قلة ثقتهم بأنفسهم ، ظلوا راصدين حياديين ولكن دقيقين تماماً . وكان سؤالهم الأول هو : « هل الكل واحد ، أم الكل تغيُّر ؟ » .

الكل واحد ، الكل تغيُّر

كان على قدماء الإغريق أن يتعاملوا في أرصادهم مع الله والروح والمادة . وقد واجهوا طريقتين متعارضتين في فهم ظروف البشر : الكل واحد ، والكل تغيُّر . لم تكن الأفكار عديمة الأساس لدى الإغريق . فقد كانوا يعتمدون على الرصد ، إذ كانت هذه الأفكار بمعظمها ثمرة رصد شخصي .

لنفحص فرضية أن الكل واحد . كيف نفهم هذه الفكرة اليوم ؟ ننطلق من الخبرة الشائعة التي نشعر بها جميعاً ــ تجربة وجودنا بحد ذاته ؛ إن لحظة الشعور بهذا الوجود هي لدى كل منا لحظة وعيه لكينونته . إنها الخبرة بالـ « أنا » ، وربما كانت الخبرةَ الوحيدة التي « يعلمها » كل منا علم اليقين . خذ ، في أثناء تناول هذا الكتاب ، وقتاً للتفكير بأنك تفعل ذلك . إن لحظة التفكير هي خبرة « الكل واحد » التي كان يعنيها الإغريق . كانت هذه الخبرة في رأيهم حاسمة وأساسية .

ولكن ماذا بشأن كل شيء آخر ؟ كل شيء آخر كان في رأيهم وهماً ، كان رحلة إلى عالم التسلية ، إلى السينما . ونحن ، في نهاية الأمر ، لانستطيع أبداً أن نتأكد من أن كل شيء وكل واحد « خارجيين هناك » هما حقاً هناك . إنهما خارج تجربتنا المباشرة . تلك كانت « الكينونة كلها » أو خبرة « الواحد مع الله » التي شرحها الإغريق . وبالاحتفاظ الدائم بأثر هذه الخبرة ــ أي أن يتذكر المرء نفسه في كل آن ــ

فإن تجربة هذه « الكينونة الواحدة » ، أي الـ « أنا » ، هي الله ، وكل شيء سواه باطل .

كان بعض قدماء الإغريق يعارضون هذا الرأي . كان كل شيء ، في رأي هؤلاء ، تغيراً ، ولا يوجد إلۤه ولا كائن سرمدي شامل السلطان . ولحظة الوعي بالـ « أنا » وهمٌ زائف . والحقيقة الحقة هي التغير المستمر ، أو الحركة . وهذا كل ما في الأمر . فلا وجود لأشياء ساكنة . كان الاستمرار في وهم « الأنا » باطلاً ومستحيلاً في رأيهم ، إنك تتغير . اللحظة تلي اللحظة . والزمن يجري سواء أردنا أم لم نُرد . وبالعودة إلى مثالنا الأصلي ، مثال الإمساك بالكتاب في يديك ، لاحظ أن تفكيرك بأنك تقرؤه الآن يتطلب تغيراً . وأنت لاتستطيع أن تستوقف اللحظة . حتى أن إدراكك لهذه المعرفة يطويه الماضي فور أن تبدأ القراءة ، لا وجود للـ « أنا » ، ولا وجود للـ « أنت » ، لا يوجد سوى التغير والحركة .

وهكذا برز الصراع بين التغير والكينونة . وقد قاد إلى عدة مجادلات حادة لدى قدماء الإغريق . وكانت الخطوة الثانية ، بعد فجر الوعي ، هي بداية الفلسفة المدرسانية scholastic في التفكير والكتابة حول أمور من هذا القبيل . فقد استمر البحث عنيفاً في أسرار الله والروح والمادة والحركة . ومن خلال هذا الجدل انبثقت الروح العلمية الحقة . وعندئذ بدأت جذور ميكانيك الكم تتأصل . إذا كانت الأشياء تتغير فكيف تفعل ذلك ؟

فكرة التقطع

كنت دائماً أجد أن أفلام تشارلي تشابلين مسلّية . فهذا الفتى اليافع يحشر أنفه دوماً فيما لا يعنيه . لكنه ينجو بأعجوبة من كل ورطة . كان يتدبر هذا الأمر بأن يتحرك بخطى إيقاعية ، بشكل متقطع . كانت متعتي تعود طبعاً إلى أنني أعلم أن تلك الحركة لا تحدث حقاً بالطريقة المعروضة في أفلام تشابلين . فالحركة في الحياة الواقعية تظهر مستمرة ملساء ـــ غير تشابلينية بالمرة . أما « القفزات » التي نراها في الفلم فهي مصطنعة . وقد تمت بفضل إبدال الحركة المستمرة بسلسلة متوالية من الصور الساكنة .

إن فكرة تواصل الحركة ، كشيء يتألف من تعاقب لحظات سكون ، ترسخت لدينا خلال زمن طويل . ولما كنا أيضا أناساً متعودين على البقاء ساكنين أو جالسين بسكون أمام عدسة المصوِّر ، فإن من الطبيعي أن نحاول تخيل أسلوب للحركة من مكان لآخر .

لا شك أن الأفكار الأولى بخصوص تقطُّع الحركة قد خطرت لقدماء الإغريق . فقد أبرز المفكران الإغريقيان ، زينون وأرسطو ، صعوبة محاولة تحليل حركة الجسم على أساس أنها سلسلة « مناظر سكونية » . لقد عرض زينون رأيه في تقطع الحركة من خلال ثلاث مفارقات . فقد لفت النظر إلى وجود فرق بين معنى الحركة المستوحى من تصور حدوثها وبين ما نراه فعلياً في الحياة اليومية . وقد أبرز هذا الفرق من خلال تحليل حركة الجسم على أساس أنها تعاقب مناظر سكونية في عرض شريط سينمائي .

وفيما بعد حاول أرسطو إنقاذ فكرة أن الحركة لا يمكن أن تحدث بهذا الأسلوب ، وأن الجسم إنما

يتحرك كـ « كل » مستمر . كان يرى أن « صورة حركة » زينون خاطئة حتماً . وبرهن على رأيه من خلال عرض طريقتين مختلفتين لتفسير أفكار زينون عن الحركة . وقد بدا أن أرسطو نجح تماماً في إبراز خطأ زينون وبذلك شل كل تفكير لاحق يبحث في الحركة على أساس أنها تحدث بشكل تقطعي ، مما أدى إلى الإيمان بأن الحركة يمكن أن تُفهم « مبدئياً » على أساس أنها سيل مستمر من لحظات غير منفصلة .

بقيت فكرة استمرارية الحركة صامدة أمام محاولات زعزعتها . إنها في قلب الرياضيات الحديثة ، وذات انسجام جيد مع مفهوم التوابع (الدالاّت) functions المستمرة وعلم الحساب التفاضلي الحديث . كان من شأن رسوخ فكرة أرسطو عن الحركة ، إضافة إلى نفور الإغريق من تحليل الطبيعة ، أن أبعد المفكرين بعده عن طريق اكتشاف أن الحركة تقطعية في دنيا الذرات وما دونها صغراً . وبالرغم من نظرية زينون لم يُقدَّر لهذا الاكتشاف أن يحدث إلا بعد مضي ألفي عام .

زينون والأشياء المتحركة

عاش زينون في مدينة إليا التي سرعان ما اشتُهرت فيما بعد بأنها مهد التفكير المدرساني . وقد تفكر زينون فعلاً . ورغم إغفال ذكره في سياق مسيرة العلم ، فقد كان زينون رائد الفيزياء النظرية الحديثة . إن عمل الفيزيائيين يقوم على تفسير الأرصاد . وعلينا ، بموجز القول ، أن نكدح في كل سبيل ، سواء نجحنا أم لم ننجح في تفسير أرصاد لم يمكن تفسيرها من قبل أو أن نعترف بكل لباقة بأننا كنا على خطأ في فهمنا لما كنا شاهدناه . لقد قام زينون خير قيام بالمهمة الثانية في الفيزياء النظرية . فقد برهن لزملائه المدرسانيين على أن « رؤوسهم محشوة بالتبن » . ولإثبات أن تلك الحركة مستحيلة استخدم حجة منطقية (أداة تفكير جديدة بعد التقسيم إلى وجهين) .

كان زينون يعرف طبعاً أن الحركة ليست مستحيلة . لم يكن أولئك الإغريق سخفاء . لكن اهتمام زينون كان ينصب على فهم الحركة وكان يعرض تحليلاً لها من خلال سلسلة من الحجج . ولم يكن سهلاً على زملائه المفكرين أن يقبلوا بها ، لأن زينون كان يسعى إلى إقناعهم بأن الحركة لا تحدث بالأسلوب الذي كانوا يظنونه .

لقد عرض زينون ثلاث مفارقات تخص الحركة . كانت كل واحدة منها تتناول أسلوب حركة الجسم عبر المكان والزمن . كان السؤال الذي طرحه زينون هو : « كيف يمكن أن نفهم الحركة إذا كان من شأن الجسم أن يشغل موضعاً محدداً في زمن محدد »

صحيح أن الجسم **يجب** أن يشغل موضعاً محدداً في زمن محدد ، لأنه لا يستطيع أن يشغل أكثر من موضعه المحدد في كل لحظة زمنية ، وإلا كان له أن يوجد في موضعين أو أكثر في لحظة واحدة . وهكذا أتخيل زينون نفسه قائلاً : « لا مفر إذن من القبول بأن الجسم الواحد يجب أن يشغل موضعاً محدداً في زمن محدد ، لا أكثر من ذلك » .

والآن نأتي إلى حجة زينون الثانية . إنه يستمر قائلاً : « إذا كان صحيحاً أن الجسم يتصرف كما ذكرت ، يكون عليه أن يغادر موضعه المحدد في زمن محدد كي يكون في الوضع التالي في زمن تال . وهنا تكمن المشكلة » . لنفحص هذه « المشكلة » من خلال وجوهها ذات المفارقات الثلاث التي عرضها زينون .

مفارقة زينون الأولى

يقول زينون « إن الحركة لا يمكن أن توجد ، لأن على العدّاء الذي يريد بلوغ نقطة النهاية في السباق أن يبلغ أولاً منتصف المسافة بين نقطة النهاية ونقطة الانطلاق » . هذا قول لا مراء فيه : إن على العداء أن يقطع نصف المسافة على الأقل نحو الهدف قبل أن يتمكن من تجاوزها . ويستمر زينون قائلاً : « أفلا ترون المفارقة في ذلك ؟ إن عليه ، قبل بلوغ منتصف المسافة ، أن يصل إلى نقطة المنتصف بين منتصف المسافة الكلية ونقطة الانطلاق . وهذا أيضاً لامراء فيه . « وهنا توجد مشكلة ، لأن المقولة التي أتيتُ على ذكرها يمكن أن تنطبق على أية مسافة من هذا السباق . فقبل أن يستطيع العداء قطع ربع المسافة عليه أن يقطع ثمنها ، وقبل أن يقطع ثمنها عليه أن .. » .

هكذا إذن نرى أن قطع أية مسافة يقتضي من العداء أن يقطع قبل ذلك نصفها . وبذلك تظهر سلسلة لا نهاية لها من أنصاف المسافات قبل إنهاء السباق . و« هنا ، كما يقول زينون ، تكمن العقدة : يوجد عدد لا نهائي من منتصفات المسافات ، وكل منتصف منها يعين مسافة محددة يجب على العداء أن يقطع نصفها قبل أن يتمكن من مباشرة العدْو إلى المنتصف الذي يليه . وهكذا ، لا يوجد إذن مسافة أولى عليه أن يقطعها ، لأن ... » ، لأن نصفها فقط هو الأول ، وهكذا دواليك ــ هنا نشاهد عقدة المحال : إن العداء مُسمَّر عند نقطة الانطلاق لعدم وجود مسافة أولى يقطعها . لكن العدائين يركضون فعلاً ، وزينون يعلم ذلك . وعلى هذا يظل السؤال مطروحاً ، « كيف نخرج من هذا التناقض » . لندع ، قبل ذلك ، زينون يعرض مفارقته الثانية .

سباق زينون : لا يمكن للمسابق أن ينطلق أبداً.

آخر نصف الطريق

خط النهاية

مفارقة زينون الثانية

« إن آخيل لايستطيع أبداً أن يتجاوز السلحفاة في سباق » ، هكذا يقول زينون : « إذ أُعطيَت السلحفاةُ في البدء مسافة ولو قصيرة أمام أخيل فإنه ، رغم بطئها وسرعته ، لن يستطيع أن يلحق بها . لأن ذلك يقتضي منه أن يقطع أولاً المسافة الأولى التي تفصله عنها ، وكما بينتُ في مفارقتي الأولى سيترتب على آخيل أن يبلغ عدداً لا نهائياً من النقاط قبل أن يلحق بالسلحفاة . ومن المؤكد أن أخيل لن يلحق بها ما دامت هي ماضية في مغادرة النقطة التي يبغي الوصول إليها » .

هل ترى أن مفارقة زينون الثانية تشبه جداً مفارقته الأولى ؟ فبدلاً من العداء أمام مسافة معينة منذ البدء نجد آخيل يركض للحاق بالسلحفاة وهي تظل أمامه بمسافة صغيرة ومن ثم ، بمسافة متغيرة . إن آخيل يستنفد جهوده لأن المسافة بينه وبين السلحفاة ، مهما تصاغرت ، تظل تحوي نقاطاً لا حصر لها من المنتصفات .

لكن مفارقة زينون الثانية مختلفة عن سابقتها . إنها تتناول بشكل مباشر مفهومنا عن الحركة كسلسلة من المناظر السكونية . ولكي تفهم كيف يعرض زينون هذه المفارقة تخيل أنك تنظر إلى شريط سينمائي يحوي صوراً متوالية لسهم يتحرك نحو هدفه .

مفارقة زينون الثالثة

« إن السهم لا يمكنه أن يطير . لا يمكنه أن يطير لأن الجسم الذي يحترم نفسه بشكل نظامي يكون إما متحركاً باستمرار أو ساكناً باستمرار . والسهم يحترم نفسه بالتأكيد على الدوام . والآن راقب السهم وهو طائر على خط سيره . واضح أن السهم يشغل ، في أية لحظة ، موضعاً محدداً . فإذا كان يشغل موضعاً فلا بد أن يكون ساكناً فيه . إن السهم لابد ساكن في لحظة تصورنا إياه . وبما أن اللحظة التي اخترناها هي أية لحظة فإن السهم لا يمكن أن يكون متحركاً في أية لحظة . وهكذا يكون السهم ساكناً دوماً ولا يمكنه أن

يطير » . قد يخطر لك أن تلفت نظر زينون إلى أن الجسم الذي يحتل موقعاً محدداً يمكن أن يكون متحركاً ، غير ساكن بالضرورة . لكن يجب أن تتذكر أن زينون يُصر على أن الجسم يحترم نفسه بشكل نظامي وأن هذا يعني أنه يجب أن يتصرف بما يمليه ذلك عليه . فإذا احتل الجسم موضعاً فإنه سيظل ساكناً فيه . ويستغل السينمائيون اعتبارات زينون هذه في تصوير أفلامهم . إنهم يلتقطون لكل « مشهد » صورة وكأنه ساكن ، مما يقلل لأقصى الحدود آثار الاضطرابات والتغيرات فيما ينطبع على أفلامهم . إنهم لا بد متفقون مع زينون على أن الجسم في كل صورة من المشهد ساكن في الموضع الذي يحتله .

وهكذا يطلب منا زينون أن نتفكر في كيفية الحركة من مشهد ساكن لآخر . وكيف يظهر السهم في مواقع شتى من كل مشهد ؟ إننا نعلم الجواب من المصورين الذي يلتقطون المشاهد . إنهم يعدِّلون المشهد بحيث لا يشعر أحد بهذا التعديل فيتولد انطباع سحري بالحركة . وقد تساءل زينون كيف تنجز الطبيعة ، أو الله ، شريطها السينمائي ، أو شريطه .

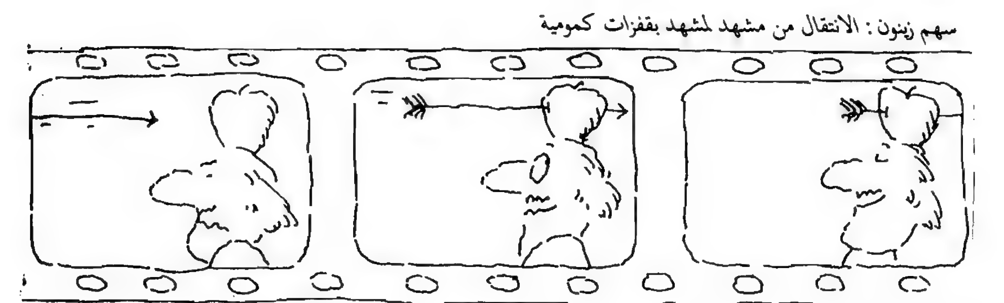
لقد شعر أرسطو بأن أفكار زينون مهمة جداً . وقد شعر أيضاً بأن لديه الأجوبة عن مفارقات زينون الثلاث . كان الجواب هو الاستمرارية أو ، خيراً من ذلك ، كمال الاستمرارية وخطأ التحليل .

محاولة أرسطو في حل مفارقات زينون

كان أرسطو يرى أن حجج زينون مهمة رغم أنه حاول تقويضها . وقد عرض ، في أحد كتبه (physica) ، هذه المفارقات ومحاولات حلها . كتب كتابه هذا بعد حوالي مئة عام من وفاة زينون . وأنا على يقين من أن الجدل بين الاثنين كان سيحتدم لو كان زينون آنئذ حياً . ويذكِّرني هذا الخلاف بينهما بجدال آخر قام فيما بعد بين بور وأينشتاين . وسوف تسنح لنا فرصة عرض هذا الجدال في فصل لاحق . فهو يتناول قضية مشابهة جداً : هل الطبيعة ذات استمرارية في تصرفاتها ؟

لقد بيَّن أرسطو أن مفارقات زينون يمكن أن تُحل إذا أدركنا أن هناك طريقتين مختلفتين جداً لاستيعاب آراء زينون . ومفتاح القضية فكرة أن المكان والزمان لانهائيي الاتساع ، المكان والزمان اللذين يحتلهما الجسم في أثناء حركته من موضع لآخر .

سهم زينون : الانتقال من مشهد لمشهد بقفزات كمومية



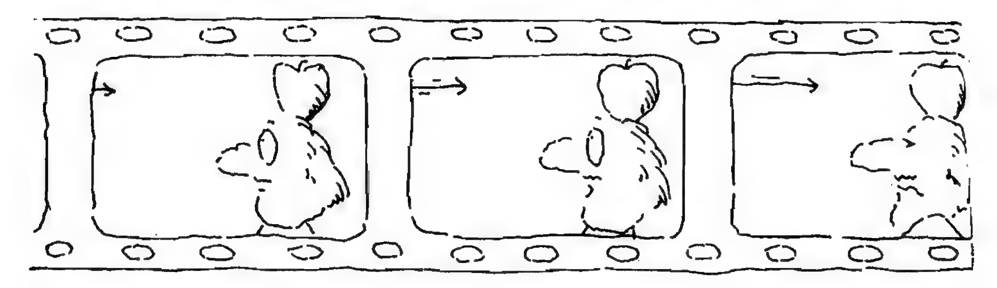
يقول أرسطو : « ذلك أن هناك معنيين مختلفين للعدد اللانهائي يتعلقان بما إذا كنا نستمر بالتقسيم أو نستمر بالجمع . فإذا استمررنا في جمع قطع صغيرة من المكان أو من الزمان لا نلبث أن نصاب بالإرهاق منهما معاً إذا لم نوقف هذه العملية أبداً . لكننا إذا كنا أمام منطقة محدودة من المكان أو فترة محدودة من الزمن نستطيع عندئذ أن نستمر في التقسيم دون توقف لنجعل كل قطعة صغيرةً بقدر ما نريد . » وهكذا » والكلام دوماً لأرسطو ، « يصل العداء إلى نقطة نهاية السباق دون صعوبة ، لأن المسافة التي أمامه محدودة ويمكن أن تُقسَّم إلى قطع صغيرة بقدر ما نريد وإلى ما لا نهاية . وهذا الكلام ينسحب على مدة السباق . إنها محدودة أيضاً في الزمان ويمكن تقسيمها إلى ما لا نهاية . وعلى هذا فإن الحركة موجودة لأنها لا تتطلب مدة زمنية غير محدودة من العداء لقطع المسافة المحدودة . فالزمن اللازم ومسافة السباق محدودان كلاهما ، رغم إمكانية تقسيمهما إلى ما لا نهاية .

« إذا طبقنا الحجة نفسها على آخيل والسلحفاة نستطيع أن نرى أن آخيل الأسرع سوف يسبق السلحفاة . فالمسافة بينهما محدودة ولن تقتضي من آخيل سوى زمن محدود ليلحق بالسلحفاة . تلك هما نهايتا المفارقتين ، الأولى والثانية .

« أما بخصوص المفارقة الثالثة فإن السهم سيطير بالتأكيد . ومن السهل أن نرى ذلك ـــ ما عليك سوى أن تضيف صوراً أكثر إلى شريط الحركة ، كما يحصل لدى التصوير السريع للحركة . إن المدة الزمنية بين أي صورتين يمكن تقسيمها أيضاً إلى عدد غير محدود من الفترات الصغيرة لدرجة أن تمثل كل منها « نقطة زمنية » متجمدة تماماً . فإذا أخذنا لقطة تصويرية مفردة لكل واحدة من تلك اللحظات المتجمدة نحصل على تواصل استمراري من صورة إلى التي تليها ، تواصل يُظهر أن حركة السهم استمرارية » .

لقد عرضتُ حجج أرسطو هنا بلغة عصرنا ؛ لكنني على يقين من أنه لو كان بيننا لما اهتم لهذا الأمر . إن حججه مقنعه تماماً ، رغم أنها تعتمد على الفرضية المحرجة ، فرضية إمكان التقسيم إلى ما لا نهاية . لكننا نتفق معه دون شك على أن عمليات الإضافة لا يمكن أن تستمر إلى ما لا نهاية .

ولكن مهلاً ، إن رؤية حركة السهم ، كسلسلة من الصور السينمائية المتواصلة ، تستلزم من الصور عددا أكبر بكثير من وتيرة التصوير التي يكتفي بها السينمائيون والتي تساوي عادة أربعا وعشرين صورة في الثانية الزمنية . ونحن ، في هذه الحجج ، نحتاج إلى عدد لا نهائي من الصور تمر أمام عيوننا في كل ثانية .



وعلى هذا فإن الإيغال في تقسيم الحركة لا يختلف من حيث الأساس عن الإيغال في عمليات الإضافة .

لقد فات أرسطو ومن تلاه ، خلال ألفي عام وأكثر ، أن يشعروا بما في تلك الفرضية من حرج . لكن القبول باستمرارية حركة السهم يجعل من الطبيعي أن تتخيل أن الاستمرارية « مصنوعة » من عدد لا نهائي من الصور السكونية ، رغم أننا لا يمكن أن ننجح أبداً في صنع فيلم من هذا القبيل . فنحن إذن نكتفي بالاعتقاد بأن ذلك ممكن « مبدئياً » .

لكن هذا الأمل انهار عام ١٩٢٦ .ذلك أن فيرنرهايزنبرغ ، الفيزيائي الشاب الذي دمره والذي نال فيما بعد جائزة نوبل على عمله هذا ، أدرك أن زينون كان على حق فعلاً . إن مبدأ هايزنبرغ في اللاحتمية indeterminism (أو مبدأ الارتياب uncertainty كما يسمى غالباً) يؤكد رأي زينون بأن « الجسم لا يمكن أن يشغل موضعاً محدداً وأن يكون في الوقت نفسه متحركاً » . لقد بيّن هايزنبرغ أن عملية الرصد ، كما نمارسها فعلياً ، لا تتيح لنا أن نواصل تحليل الحركة إلى ما لا نهاية . لكننا سنشعر ، عاجلاً أو آجلاً ، أن ممارستنا تُدخل تقطعات في كل مانرصده مهما كان . إن هذه التقطعات أساسية في فيزياء القرن العشرين الجديدة . كان أرسطو ، في انتقاده لحجج زينون ، يؤكد الفكرة الثابتة الراسخة عصرئذ بأن الرصد الحيادي يمكن « مبدئياً » الاستمرار فيه ولا أهمية لكيفية تقسيم الزمان والمكان . وبذلك كان مفهوم الاستمرارية يسير جنباً إلى جنب مع الراصد الحيادي . لم يكن يوجد شيء نبحث عنه في الصور السكونية السينمائية لتقطيع الحركة ــ كانت الحركة كلاً قائماً بذاته . كانت تواصلاً استمرارياً ، شيئاً واحداً بذاته لا يتجزأ .

نظرة تاريخية : نهاية الحياد

لقد قُدر لأفكار أرسطو أن تؤدي دوراً لدى مفكري الغرب خلال ألفي عام تقريباً . ولئن كان من غير « الفيزياء الجيدة » أن نحلل الحركة بطريقة إيقاف الجسم الطائر وأن نفترض بعدئذ أن الحركة توالي سلسلة من « التوقفات » المتواصلة ، فإن الفكرة كانت بالتأكيد مقبولة كممارسة ذهنية . وهكذا كان البشر يتداخلون مع الحركة الطبيعية كلما تعاملوا معها . ولكن لم يكن يوجد ضير من التفكير بالحركة على أساس أنها توقفات متواصلة .

كان أرسطو يؤمن بالحركة الطبيعية . كانت مداخلة البشر هي التي تؤدي إلى حركات تقطعية غير طبيعية . وهذه الحركات ليست ، في رأي أرسطو ، من أساليب الله . فهو قد شعر ، مثلاً ، بمفهوم « القوة » قبل كلمتها . فالعربة الثقيلة التي يجرها الحصان حركة غير طبيعية . وهذا سبب معاناة الحصان منها ، كما هو سبب الخض فيها وعدم انتظامها . إن على الحصان أن يسلّط « قوة » كي يحرك العربة ، وعليه أيضاً أن يستمر في تسليط « القوة » كي يحافظ على حركة العربة . وفور أن يتوقف الحصان عن الجر تنقطع « القوة » عن العربة وبذلك تعود العربة إلى حالتها الطبيعية التي هي حالة السكون على الطريق .

يبدو أن أرسطو لم يتدخل في الجدل بين القائلين بأن « الكل في واحد » كائن رباني وبين القائلين بأن « الكل تغيرٌ » . لكنه كان يشعر بأن العقل والروح والنفس أهم من العالم المتجسد . ومن الممكن أن يكون العنصرُ الخامس عشر ، الأثير erher ، في فيزياء أرسطو ، هو « الفيزيس physis » الذي ذكره أسلافه في إليا . كان هذا « الفيزيس » روح المادة كلها ، وربما كان أرسطو يرى أن اهتزازات هذه الروح هي أصل الحركة . ومن الأكيد أنه تساءل عن هذا الأمر : « كيف يتسنى للسهم أن يستمر في طيرانه وقد انقطعت صلته بالقوس التي كانت سبباًفي اندفاعه ؟ » . وبشكل أو آخر كانت مداخلة الكائن البشري تقليداً لما يوجد في الحركات الطبيعية من أناقة وكمال .

لقد خطرت هذه الأفكار في دنيا العقل منذ آلاف السنين . كان العلميون حياديين عصرئذ . وقد اضطر العلم للانتظار دهراً قبل أن يحاول رجاله الدخول فيه والتماسه عن كثب وتجريب الأفكار ليروا إذا كانت صالحة للعمل . عندئذ لن يكون من شأن رجال العلم أن يقبلوا دون برهان أن الحركة طبيعية . كان عليهم أن يتحققوا بأنفسهم وذلك بإجراء تجارب تعزل الحركة وتدرسها جزءاً جزءاً . كان عليهم أن يتعلموا شيئاً منها . لكنهم لم يكونوا يقصدون أن يحلّوا تلك المفارقات الحركية . كان من شأن هذا العمل أن يبين لهم أن « حقيقتي » زينون وأرسطو كليهما صحيحتان . الحركة استمرارية ونسيقة بشرط أن لا نحاول رؤيتها . لكنها متقطعة عندما نرصدها وشرط أن لا نألو جهداً في رؤيتها .

إن هذه الاكتشافات لم تحدث إلا في القرن التاسع عشر . أما قبل ذلك فكانت المحاولات تهدف إلى تحليل الحركة على اساس أن عملياتنا لاتؤثر فيها . يمكن إذن أن ننظر إلى تاريخ العلم على أساس أنه عصر الراصد النشيط فيما يرصده . وقد أتيح لهذا العمل نجاح ملحوظ . ومع ذلك ما يزال أمامنا أسرار في الحركة لم نجلُها بعد .

الفصل الثاني

الراصد النشيط

أهلاً ، أهلاً بالآلة .

كل شيء على ما يرام ، أيها الفتى

إننا نعلم أين كنتم

Pink Floyd

أصبحت الريح مرئية مع حلول عصر الراصد النشيط . لقد رؤيت على شكل عاصفة من الذرات ، جسيمات صغيرة لا يتجاوز قطر الواحد منها أجزاءً من مليار جزء من السنتيمتر . أصبحت حركة كل جسيم منها تخضع للتحليل أو ، « مبدئياً » ، قابلة للتحليل و« المشاهدة » . وبذلك نشأت روح جديدة في التفحص والاستقصاء ، روح تتنبأ بحلول عصر الميكانيك أو عصر العقل . وكان من شأنها أن قادت إلى علم الميكانيك أو علم الحركة . وكان ذلك مقدمة لظهور ميكانيك الكم من خلال رغبة الإنسان في تحسس الأشياء والتوغل فيها .

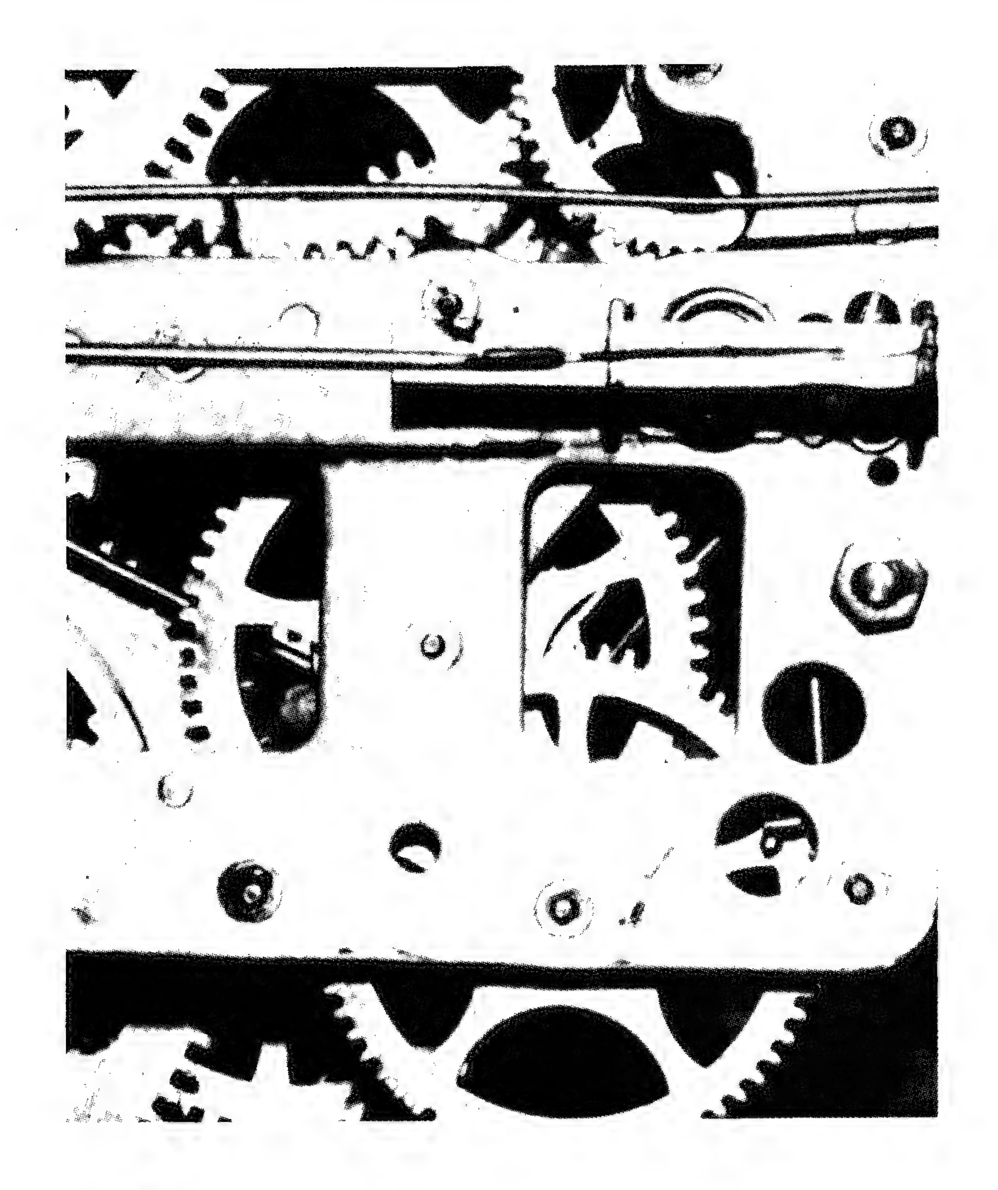
كانت فترة التقصي غير المحدود تمهيداً لما جاء بعده بأربعمئة عام . وقد بدأ ذلك بعدد صغير من العلماء التحليليين في أوروبا نذروا انفسهم لهذا العمل . وكان منهم كوبرنيق وكبلر وبرونو وغاليليو وديكارت . وجاء إسحق نيوتن فيما بعد ليعتمد في تفكيره على ما أرساه هؤلاء الرجال من أسس متينة . وقد قال : « إذا كنت قد ذهبت إلى أبعد مما ذهب إليه الآخرون فما ذلك إلا لأنني وقفت على أكتاف عمالقة » . وبعد نيوتن أتى « عصر الثقة الذهبي » .

وهكذا وُلد إيمان جديد بـ « العالم الميكانيكي » . فقد اكتشف ميكائيل فارادي كيف تتحول الكهرباء إلى مغنطيسية . واخترع جيمس كليرك مكسويل نموذجاً ميكانيكياً للضوء وبرهن على أن الضوء مظهر من مظاهر الكهرباء والمغنطيسية .

كان هؤلاء العلماء المحللون فقساً جديداً . كان هدفهم تصنيف الظواهر وتحليل كل شيء بروح النقد والمنطق الصارم . ومن هنا نشأت تلك الصورة الباردة لرجل العلم المنقطع عن الناس . وما تزال هذه الصورة قائمة ، مع الأسف ، حتى اليوم .

في هذه الصورة النوعية المريبة يُرى هذا الرجل ، ذو المظهر المتوحش والشعر الأشعث والثوب الأبيض ، منهمكاً في تجريب أحدث مسوخه المخيفة . إنه بقية خيالية من عصر العقل . كان العلميون يصنعون الآلات كي يفككوا الآلات . كانت الآلات التي يصنعها البشر تهدف إلى تقليد الآلات التي صنعتها الطبيعة . لم تعد الطبيعة شيئاً يُكتفى بالجلوس أمامه والتفكير فيه . أصبح العلم صنعة تتطلب موهبة وحرصاً على إجراء التجارب باليد . لم يكن يوجد حدود لما يمكن أن يُرى من خلال البحث في صغريات الأشياء. كان العلمي المحلل يؤمن بأن التحليل الرياضي من شأنه أن يقدم توصيفاً لتصرفات أصغر ما يكتشفون من أشياء.

كان هذا التناول شبه بدعة طرأت على فلسفة قدماء الإغريق . ولم يكن التحليل الرياضي ، كما نعرفه اليوم ، شيئاً موثوقاً به . أصبحت الفكرة القائلة بأن الحركة انسياب مستمر من نقطة استقرارية لأخرى مقبولة لدى هؤلاء التحليليين المتأخرين . هذا لدرجة أن نيوتن ولايبنتز **Leibnitz** اخترعا فرعاً من الرياضيات لهذه الاستمرارية ، فرعاً نسميه اليوم « الحساب التفاضلي » . كان من شأن هذا الفرع أن



أهلا بالآلة

يصف الحركة كما تظهر في قوانين نيوتن الحركية . وأصبح بمقدور عدد لا يحصى من الباحثين في عالم الفيزياء الممتع أن يجزئوا كل خط إلى عدد لا نهائي من النقاط المتسلسلة المتراصة تماماً واحدة تلو الأخرى .

كان الإغريق يقولون بأن « الكل » الملحوظ يفوق مجموع أجزائه . لكن العصر الميكانيكي أصبح

يرى أن « الكل » يساوي بالضبط مجموع أجزائه ، لا أكثر ولا أقل . كانت هذه الفكرة أساسية في الصورة الميكانيكية . لم يكن يوجد في هذه الصورة قطع مفقودة . كان بالإمكان حساب كل ما يمكن قياسه . فنشأت قوانين الانحفاظ . الكتلة ، أي المادة ، منحفظة . والاندفاع ، أي جداء الكتلة بالسرعة ، منحفظ أيضاً ، شرط أن لا تقيس فقط سرعات الأشياء التي تهتم بها ، بل واتجاهات حركاتها أيضاً . الطاقة منحفظة أيضاً . إن الأشياء هي هي ـــ لا أكثر ولا أقل .

وبذلك أصبح عالم الفيزياء ، من خلال دراسة أجزائه بعناية ، أكثر بساطة وأكثر قابلية للفهم . ولدى ضم هذه الأجزاء معاً وجد رجال العلم أن بمقدورهم فهم أية حركة معقدة . أي أن « فهم » الغابة لا يمكن أن يحصل إلا من خلال دراسة الشجرة بعناية . وشجرة البلوط ليست سوى شجرة بلوط . ونبتة السنديان تنمو وفق قوانين الحركة ، حتى ولو لم يُتح لنا أن نعرف بالضبط كيف نطبق تلك القوانين عليها .

كانت قوانين نيوتن القوانين العليا السائدة في هذا العالم . لكنها في أعماقها تنطوي على افتراض خفي : الراصد لا يشوش شيئاً ؛ الراصد يرصد ما هو كائن هناك . أصبح العالم آلة عملاقة تعمل كميقاتية منضبطة ؛ آلة يمكن أن تُدرس أجزاؤها وأن تُضم معاً من جديد ، فتعمل بالطريقة ذاتها . كانت قوانين نيوتن تتنبأ بنوع عجيب من التناظر : كانت الآلة الميقاتية قادرة على أن تعمل بهذا الاتجاه أو ذاك سواءً بسواء . وكان المستقبل الآتي ، بعد أية لحظة معينة من لحظات الحاضر ، معيناً بتمامه ويمكن التنبؤ به باتباع التوصيف الرياضي الاستمراري الذي تُقدمه قوانين نيوتن .

زد على ذلك أن بالإمكان أن يعاد بناء الماضي إذا عرفنا مواصفات الحاضر . وإعادة البناء هذه لا تعتمد على الإدراك والذاكرة البشريين المعرَّضين للخطأ . لكنها تتبع « التناظر الزمني » في معادلات نيوتن . كان الماضي ذا صلة بالحاضر وثيقة ومستمرة . وكان المستقبل أيضاً ذا صلة بالحاضر وثيقة ومستمرة . كان كل شيء معيناً بهذا الأسلوب . ومع حلول القرن التاسع عشر أصبح عصر المعقولية الميكانيكي عصر الحقيقة الموثوقة .

ومع نهاية القرن التاسع عشر بدأت تظهر نظرة جديدة مشوبة مع ذلك بشيء من القديمة . انطلقت هذه النظرة من أحجيتين . نشأت أولاهما من اكتشاف أن في الصورةالميكانيكية شيئاً ناقصاً ، أن الأمواج الضوئية تنتشر دونما حاجة إلى أية هيولة تتموج بها . ونشأت الثانية حين تبيَّن أن ألوان الضوء الصادر عن أية مادة مضيئة بالتسخين ، كسلك المصباح الكهربائي ، لا يمكن أن تتفسر بالحركة الميكانيكية الاهتزازية ضمن هذه المادة .

ومع هذه الروح التحليلية الجديدة واكتشاف السلوك العجيب للضوء والحرارة بدأ ميكانيك الكم ينبت شاقاً طريقه في أرضية عصر الموثوقات . ولولا جهود كل أولئك العلماء في منعطف القرن العشرين لظل ميكانيك الكم خافياً على الناس .

لقد بدأ كل ذلك بفضل ذلك النفر القليل الذين وصفهم نيوتن بـ « العمالقة » .

عمالقة نيوتن : عصرالعقل

كان نيقولا كوبرنيق أول واحد من أولئك الذين دعاهم نيوتن بالعمالقة في عصر العقل . ففي القرن السادس عشر ، عندما كتب كوبرنيق أن الأرض قد لا تكون في مركز العالم ، كان مجردُ الشك في هذه الفكرة يُعتبر من قبيل الإلحاد . كان القديس توماس أكيناس ، في القرن الثالث عشر ، قد أرسى لاهوتيته المسيحية مع تعاليم أرسطو على أساس أن الأرض تقع في مركزالعالم وأن النجوم تتحرك حركات دائرية مثالية حول الأرض . وعلى هذا كان القول بخلاف ذلك يعرض قائله للإعدام بحكم من محاكم التفتيش الكنسية .

وفي عام ١٥١٤ نشر كوبرنيق عمله الأول في مخطوط يوحي بأن الأرض ليست ساكنة . وربما كان خوفه من الصراحة هو الذي دعاه إلى كتابة ذلك بأسلوب فلسفي جداً . وقد مر هذا العمل دون ان يثير الانتباه عموماً .

وبشق النفس استمر كوبرنيق عشرين عاماً بعد ذلك يفتش عن المعلومات الضئيلة المتوفرة آنئذ لدعم نظريته . وفي عام ١٥٤٣ ، وقبل سويعات من وفاته ، رأى كوبرنيق للمرة الأولى نتائج أعماله في تلك السنين العشرين منشورة في كتاب . كان هذا الكتاب يحمل العنوان التالي : **De Revolutionbus Orbitum Caelestium** (دوران الكرات السماوية) ، وقد أراه إياه أستاذ لوثري المذهب كان لديه ، على ما نظن ، أسبابه الخاصة للتحرر من اللاهوتية المسيحية . نُشر هذا الكتاب في مدينة نورمبرغ ، وما لبث أن حرَّمته الكنيسة الكاثولوكية ، ولم يره أحد بعد ذلك طوال ثلاثمئة عام .

كان جيوردانو برونو **J. Bruno** عملاق نيوتن الثاني . كان هذا الإيطالي ، الذي ولد عام ١٥٤٨ ، قد سمع شيئاً عن نظرية كوبرنيق . كانت فكرة أن الشمس هي مركز العالم وأن الأرض تدور حولها تبدو ساحرة للفتى برونو . أستطيع أن أتخيل برونو متسائلاً : « كيف يمكن لذلك أن يكون ؟ إنني ، عندما أتطلع في السماء ، أرى الشمس تشرق وتدور حول الأرض التي أقف عليها . وإن فكرة أن الأرض تتحرك ، وأتحرك أنا معها ، تُبطل كل ما كنت أعتقده صحيحاً » .

لقد حلَّق خيال برونو فرأى كثيراً من المنظومات الشمسية ، عوالم ذات شمس مركزية ، منثورة بين النجوم . وفي كل منظومة شمسية رأى أرضاً تماثل أرضنا . ورأى حياة على كواكب أخرى . وما كان منه إلا أن أذاع ما رآه فحُكم عليه بالكفر وأحرق عام ١٦٠٠ .

ولد ثالث عمالقة نيوتن ، يوهانيس كبلر ، عام ١٥٧١ في ألمانيا . وبسبب ولعه بالتنجيم وعلم الفلك عمل كمساعد للفلكي الدانمركي تيخو براهي **Brahe** . ومن خلال اثباته لنظرية كوبرنيق بأن الأرض تدور حول الشمس اكتشف ثلاثة قوانين في الحركات السماوية . لقد قُدر لهذه القوانين أن تخدم نيوتن كأساس لاكتشاف قوانينه الحركية وقانون الجاذبية الثقالية الكونية . ومن هنا نشأت نظرة جديدة إلى العالم الكوني ، نظرة ترى فيه آلة ميقاتية عملاقة تنتظم فيها الأشياء المتحركة .

كان قدر كبلر أن يكون أول من استخدم الرياضيات في صوغ أرصاده . كان تناول الأرصاد بهذه

الطريقة متروكاً دون تطوير لدى الإغريق . فأصبح المفترض في الرياضيات أن تستطيع تقديم أساس لفهم الأرصاد . ولم يكن أرسطو ليرضى بالتفسير الرياضي وحده . فكانت الموسيقا ، مثلاً ، أكثر من اهتزازات رياضية . هذا حتى أن كبلر نفسه شعر بالحاجة إلى شيء آخر لدعم رياضياته .

كان الفرنسي ديكارت رابع العمالقة . كان قد اضطر ، عام ١٦١٩ ، بسبب عاصفة ثلجية إلى البقاء حبيساً في غرفة مُدفأة في بافاريا مدة أسبوعين . وفي أثناء تلك المدة خطرت له ، حسب قوله ، ثلاث رؤى . وقد تركته هذه الرؤى في شك كامل بكل ما كان يعتقد بمعرفته أو بفهمه . فنبذ كل العقائد الدينية ، وانصرف عن كل ما نادى به كبار المفكرين . فلم يجد سوى شيء واحد تأكد من صحته ، وهذا الشيء هو : « أنا أفكر ، فأنا أكون » . وهكذا عاد ديكارت إلى موقع قدماء الإغريق . موقع الكينونة الراسخة عبر التغير . لكن ديكارت خطا بهذه الحجة خطوة أبعد .

فمن خلال إدراكه بأنه يفكر استنتج ديكارت بالمنطق أنه موجود . وبتعبير آخر كان إدراكه بأنه موجود البرهانَ الوحيد على وجوده . قد يظهر لنا أن هذا البرهان استنتاجي . إنه حجة قوية جداً وبسيطة . ولئن كان بإمكاني طبعاً أن أتخيل وجودي بعد أن أكون ميتاً ، أو قبل أن أولد ، إلا أنني لا أستطيع البرهان عليه . وهكذا يرى ديكارت أن الكينونة والتغير يتمم أحدهما الآخر . فلا وجود للكينونة وحدها ولا للتغير وحده .

« أنا أكون » تعني الكينونة . « أنا أفكر » تعني التغير . فالكينونة إذن أصل التغير . والتغير ضروري لكي يعي المرء وجوده . وهكذا قدَّم ديكارت قاعدة متينة لنيوتن . كانت هذه القاعدة أساس التفكير المنطقي . وما زالت المدارس الفرنسية حتى اليوم تنسج على منوال ديكارت في التحليل والتفكير . لا بد للأشياء من أسباب ولا بد إذن من سبب لدوران الكواكب حول الشمس .

قام ديكارت بمحاولة جريئة لبناء نظرية في العالم تستغني عن كل شيء إلا عن عنصري الكينونة والتغير . كان هذان العنصران يُدعيان المادة والحركة . حتى أنه حاول تحليل نظرة كوبرنيق للعالم من خلال نظرة أرسطو . كانت الحركة لديه نسبية ، غير مطلقة . فإذا اصطدمت سفينتان متروكتان لشأنهما في البحر ، فأيهما تكون المخطئة ؟ أيهما هي التي صدمت الأخرى ؟ إن كلاً منهما تستطيع أن تدعي أن الأخرى هي المذنبة ، لكن ديكارت كان بإمكانه أن يبرهن على أن المسألة مسألة وجهة نظر وتكمن في حركة كل سفينة بالنسبة للأخرى . ذلك أن طاقم كل سفينة يرى أن السفينة الأخرى تتحرك باتجاهه في حين أن سفينته هو تبدو ساكنة في مكانها . وعلى غرار ذلك يمكن للشمس أن تبدو متحركة حول الأرض ، أو أن الأرض متحركة حول الشمس .

وبدافع من هؤلاء المحللين العلميين الأربعة ـــ كوبرنيق وبرونو وكبلر وديكارت ـــ كان لا بد من البحث عن سبب جديد للحركة . إن الحركة المطلقة للأشياء كلها بالنسبة لأمكنتها الطبيعية لم تعد مقبولة كجواب كاف عن مسألة سبب حركة الأشياء . ولا يمكن الاستغناء عن التوصيف الرياضي . وهكذا كان لا بد أن يصبح التحليل وسيلة موثوقة من وسائل العلم . لكن كان لا بد أيضاً من جهود عملاق خامس

يزوِّد نيوتن بكل ما سيحتاجه لتوضيح الكينونة والحركة . كان هذا العملاق الخامس أول فيزيائي تجريبي . أول من خرج من دائرة الفكر المجرد ليتصل بالعالم الواقعي . كان اسمه غاليله غاليليو G.Galileo .

غاليليو : أول راصد نشيط

كان غـاليـليـو النموذج الرائد للفـيزيائي الحديث . إنه الرجل الذي اخترع ، للرصـد والتوصيف والتحليل ، الطرائق التي ما نزال حتى اليوم نستخدمها قواعد للعمل في الفيزياء كلها . كان إسهامه الجوهري على طريق اكتشاف ميكانيك الكم يتمثل في إحلال الراصد النشيط محل الراصد المحايد الكسول .

كان الرصد الحيادي أيَّ رصد يرغب الراصد في انجازه تاركاً المرصود نظيفاً من أي تشويش يسببه الراصد . وبتعبير آخر ، كان الرصد الحيادي يتطلب أن لا يكون لحضور الراصد أي تأثير في نتيجة أي رصد . فالشمس ، مثلاً ، تشرق سواء نظرنا إليها أم لم ننظر . أي أن مشاهداتنا غيرُ ذات أثر في الحركة المسؤولة عما نراه ، الحركة التي نعرف اليوم أنها دوران الأرض حول محورها . ومن المقبول بحق أننا لا نملك إلا القليل جداً من وسائل إيقاف الأرض عن الدوران على نفسها .

لم يبذل أحد ، قبل عصر غاليليو ، جهداً يُذكر لمحاولة اكتشاف أسباب الحركة سوى الجهود التي بذلها أرسطو . كان التجريب ، أي التحليل العملي للحركة ، عمليةً صعبة ولم يخطر على بال أحد حتى أن يحاول ذلك . لكن غاليليو كان واحداً من النشء الجديد . فقد قام ، وهو لم يكد يبلغ السابعة عشرة من عمره ، برصد حيادي لتأرجح إحدى الثريات المعلقة كنواس في سقف كنيسة مدينة بيزا التي نشأ فيها . فلاحظ أنها تتأرجح بفعل نسيم خفيف يدخل من باب الكنيسة الذي كان نصف مفتوح . وللتخفيف من ضجره من خطبة الواعظ راح يراقب الثريا بعناية ، ثم وضع إصبعه على رسغه وتحسس نبضه ، فلاحظ شيئاً مدهشاً : كان عدد النوسات التي تقوم بها الثريا في أثناء كل ستين نبضة واحداً لا يتغير .

عندئذ تساءل غاليليو : « لماذا يحدث ذلك بهذا الشكل ؟ إن الريح الآتية من الباب تغير التأرجح بشكل عشوائي . والثريا تتأرجح أحياناً بسعة تأرجح كبيرة ، وأحياناً بسعة صغيرة قريبة من السكون ، ومع ذلك تظل وتيرة التأرجح على حالها في كل حال » . ومن استمراره في هذا الرصد الحيادي لحركة الثريا اكتشف غاليليو مبدأ صنع أول ميقاتية آلية : يمكن استغلال حركة النواس لقياس الزمن . كان من شأن غاليليو أن يتذكر هذه التجربة فيما بعد . كان الزمن وسيلة ضرورية لدراسة كل حركة ، وأصبح من غير الضروري أن يقضي سنوات عديدة لدراسة حركات الكواكب ، بل تكفيه الثواني التي يستغرقها رصد حركات الأشياء قرب سطح الأرض . لم يكن غاليليو ممن يقنعون بالمشاهدة وحْدها ، فكان عليه أن يُدخل الأدوات في مسرح العلم .

تحكي القصة الشعبية أن غاليليو ، عندما مثل أمام محكمة التفتيش ، رجا حكامه أن يلقوا نظرة عبر مرقابه (تيلسكوبه) إلى القمر كي يشاهدوا جباله وفوهاته . فرفضوا بحجة أن الآلة غير موثوقة لإعطاء

صورة صادقة ، وأنها لا تستحق منهم أن ينظروا فيها . وقالوا : « إن ما سنراه ناجم عن المرقاب وغير موجود موضوعياً بشكل مستقل عن هذه الأداة » . لقد أظهر غاليليو ملامح سطح القمر . لكن عندما تنازل أحد الحكام ونظر في المرقاب لم يشاهد أي شيء يشبه ما وصفه غاليليو ، فصرخ في وجهه قائلاً : « إن الفوهات في عقلك » . فعاد غاليليو يقول بإصرار : « كلا، إنها هناك حقاً ، لماذا لا تستطيع أن تراها ؟ » .

وفي حكاية أخرى يقال إن غاليليو مثل أمام أسرة ميديسي ، وكانت من الأسر الغنية الحاكمة في إيطاليا في العصور الوسطى ، فوضع أمامها مستوياً مائلاً ، لوحاً خشبياً ترتفع إحدى نهايتيه عن الأخرى ، وراح يدحرج عليه كريات مختلفة ، قاصداً أن يبرهن بهذه التجربة على أن الأجسام تتسارع في أثناء هبوطها ، أي أنها لا تتحرك بسرعة ثابتة كما كان يدَّعي أرسطو . وكان من المدهش أكثر أن كل الأجسام المتدحرجة ، خفيفها وثقيلها ، كانت تتسارع بمعدَّل واحد فتصل إلى القاع في وقت واحد . وهذا يناقض بشكل حاسم ادعاء أرسطو الذي قال بأن الأجسام الأثقل لا بد أن تتدحرج بسرعة أكبر فتصل إلى قاع المستوي المائل قبل الأجسام الأخف .

لكن آل ميديسي لم يأبهوا بهذه التجربة . ذلك أنهم ظنوا أن غاليليو لم يفعل أكثر من عرض شيء من السحر المتقن ، فقالوا له : « كيف نستطيع أن نثق ببهلوانياتك هذه يا غاليليو ؟ واضح أنك تفعل شيئاً يجر بعضها نحو الأسفل . لأننا لا نرى مما عرضته شيئاً ذا معنى بموجب تعاليم أرسطو وأكيناس . فلا تخدعنا بهذه الألاعيب . لأننا ، نحن أيضاً ، فلاسفة ورصاد متميزون . لكننا لسنا ممن يدّعون الموازنة بين الحيل المتمثلة في هذه الألاعيب وبين الحركات الحقيقية التي خلقها الله . ويجب أن نردع كل من تسوَّل له نفسه ممارسة مثل هذا النشاط . وانت ، يا غاليليو ، المسؤول عما شاهدناه ، لا قوانين الطبيعة » . كان لهذه الكلمات صدى في أذني غاليليو .

من هاتين الحكايتين يتضح أن غاليليو عرض أمام المشككين طريقة في العلم جديدة . كانت هذه الطريقة تقضي **بممارسة العلم** ، أي بالإسهام الفعال للراصد فيما يرصده . لكن حكام التفتيش المتشككين ، في الحكاية الأولى مع مرقاب غاليليو ، لم يتمكنوا مع ذلك من رؤية فوهات القمر . إنهم لم يثقوا بالأداة ، ولم تكن عقولهم تستطيع أن تقبل بقدرة أداة غاليليو المبتكرة على إظهار ما لا تستطيع عيونهم وحدها رؤيته . إن صدق مثل هذا الادعاء يتجاوز حدود « العقل » . أما في الحكاية الثانية فكانت محاولات غاليليو للبرهان على قانون الطبيعة مثار سخرية ، لأن طرائقه فاضحة أكثر مما ينبغي . وقد غضب معارضوه لأن الحركات الطبيعية الاستمرارية قد تعطلت بمداخلات غاليليو التافهة .

لكن غاليليو أدرك أن مثل هذه التجارب لم تكن أكثر من دلائل تقريبية على الطبيعة الحقيقية للحركة . وكان يعلم أن طرائقه بدائية . لكنه لم يكن موافقاً على أنه كان يشوش الطبيعة . بل كان ، بدلاً من ذلك ، يحاول اكتشاف القوانين الطبيعية للحركة وذلك **بحذف** تلك التشويشات التي تحجب الحقيقة عن عيوننا . ومن خلال العناية بالتحليل كان غاليليو قادراً على معرفة كل المؤثرات الدخيلة التي تشوش أرصادنا . كان التحليل ، في ذهن غاليليو ، يعني التبسيط واكتشاف قوانين الله . وباتصاله بما هو خارجي

عنه في هذا العالم وضع غاليليو سنن الفيزياء التجريبية الحديثة .

أما الباقي اللازم لاستكمال الفيزياء الحديثة فكان القيام بالخطوة الأولى على طريق الفيزياء النظرية الحديثة . وذلك ما أتى به إسحاق نيوتن .

استمرارية الميكانيك

كان نيوتن قادراً على أن يضم معاً مفهومي الرصد الحيادي والرصد النشيط . والواقع أن التمييز بين هذين المفهومين قد اختفى ، في وجهة نظره . لم يكن الرصد النشيط لدى نيوتن أكثر من امتداد للرصد الحيادي .. ووظيفة الأدوات تقتصر على الكشف ، لكنها لاتغير شيئاً في العالم القائم الذي تتحراه . وقد أتاح الرصد النشيط ، والأفكار التي من هذا القبيل ، لهذا العالِم الذي عايش نهاية القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر أن يرى بحر الحقيقة الممتد أمامه ، حسب قوله :

> أنا لا أدري كيف يراني هذا العالَم ، أما من جهتي فإنني أرى نفسي مجرد صبي يلعب على شاطىء المحيط ويجد في أثناء تجواله حصاة ملساء أو قوقعة أجمل من سواها ، بينما يمتد أمامه بحر من الحقيقة ما ارتاده أحد قبله .

وسواء كان نيوتن قد نظر عبر مرقاب ما أو أنه تفكر في تجارب غاليليو العديدة ، فإن الفرق بين الحالين صغير . لكن الشيء المهم كان أن الوسائل الرياضية والتجريبية الجيدة أخذت تساعد العلميين على أن يروا بوضوح أكثر وأن يقفوا على أساس أمتن في رصد العالم من حولهم . كان المرقاب والمجهر ومضخات الخلاء قد فتحت أمامهم أبواباً جديدة . كانت الهندسة التحليلية والحساب التفاضلي قد أصبحا أداتين رياضيتين جديدتين جاهزتين للخدمة . وكان التزاوج بين الرياضيات والطرائق التجريبية قد حصل في مجالات عديدة . وراح العلماء يرفعون أنظارهم إلى هذا العالم ثم ينزلون بها إلى أصغر الأشياء الملحوظة . كانت أدوات العلم كلها مجرد امتدادات لحواس الإنسان . وكان العقل ، بموجب مقولة ديكارت الفلسفية ، منفصلاً عن المادة . وبذلك كان الراصد منفصلاً عن المرصود . كان كل ما يمكن رصده لعبةً ممتعة يمارسها عقل نيوتن التحليلي .

بعد أن اعتمد نيوتن في أعماله على من سبقه من العمالقة كتب كتابه المشهور اليوم باسم المبادىء Principia ، والذي طُبع في لندن عام ١٦٨٧ . وقد جمع في هذا الكتاب ، بأسلوب منطقي دقيق ، قروناً من الأفكار بخصوص الحركة والعالَم . كانت فكرة الاستمرارية مهمة جداً عند نيوتن . ومن هذه الفكرة الفريدة استطاع أن يستنبط قوانينه الحركية الثلاثة . والواقع أن كل قوانينه تصبح عديمة المعنى بدون الاستمرارية . حتى مفهوم اللا نهاية ، الذي اخترعه زينون وأرسطو لتفسير استمرارية الزمان والمكان ، لم يكن حجر عثرة أمام نيوتن . ولفهم أفكاره يمكن أن نتخيل الحوار التالي بينه وبين بعض تلاميذه . والسؤال المطروح هو : « ماهو الزمن ؟ ياسيد إسحاق » .

حديث مع إسحاق نيوتن

أستطيع أن أتخيل نيوتن مجيباً : « ماهو الزمن ؟ لا شيء يقال بشأنه . إنه مطلق وحقيقي ورياضي . إنه ينساب باستمرار دون أن تكون له علاقة بأي شيء آخر . إن أجزاء الزمن ، التي نسميها مدداً ، أشياء ظاهرية محسوسة وقابلة للقياس . ونحن نقيس هذه الأجزاء بحركتها . ونمنح أسماء مختلفة لهذه الأجزاء تبعاً لمقدار حركتها . فالسنة هي مقدار حركة الأرض حول الشمس ، والشهر هو مقدار حركة القمر حول الأرض ، وهكذا دواليك » .

ويطرح تلميذ آخر سؤالاً آخر : « وماذا بشأن الفضاء ، المكان ، ياسيد إسحاق ؟ » ويجيب نيوتن قائلاً : « الفضاء راسخ ولا نهاية له ، إنه يظل دوماً وبالضبط كما هو . لكن للطول شأناً آخر . إنه محسوس ونسبي . ونحن نقيس الطول بالمقارنة . فطول الرجل مثلاً ، يساوي علوَّ عين الفيل ، إلخ » . ويطرح تلميذ ثالث السؤال التالي : « ولكن كيف تتحرك الأشياء إذن ؟ » ويجيب نيوتن : « إن الأشياء تتحرك لأن هذا كل ما يمكن أن تفعله . الحركة طبيعة في الأشياء . وحالة التوقف عن الحركة هي وحدها التي يجب أن نبحث عن أسبابها . فإذا تُرك كل شيء في هذا العالم لشأنه وحده ، فإن كل الأشياء تكون متحركة كما كانت تفعل منذ الأزل بالضبط . إن حركتها الآن باقية على حالها كما كانت ومهما كانت . كل شيء يجري بشكل مستمر . لكن الأشياء تتفاعل بعضاً مع بعض . وكل تفاعل يتسبب في « حني » الحركة أو في تسريعها . فالكوكب يرسم بحركته دائرة حول الشمس لأن الشمس تسلط على الكوكب قوة تجذبه إليها . وهذه القوة أسميها **الثقالة gravity** . إن الجسم يسقط من العمارة العالية متسارعاً نحو الأرض للسبب نفسه . فحركة الأجسام تتغير بفعل الثقالة . الجسم يتسارع ويكتسب اندفاعاً في أثناء سقوطه . كل ذلك يتفسر بقوانيني الحركية ونظريتي الثقالية » .

لكن تلميذه الشاب يسأله : « لكن هل تعني ، يا سيدي ، أن القوى تجعل الحركة تقطعية ؟ » ويجيب نيوتن : « كلا ، بتاتاً . إن الحركة تظل استمرارية . ورغم أن القوى تسبب تغييراً في الحركة ، فإن هذا التغيير يحدث بشكل استمراري . وفي كل لحظة يكتسب الجسم الساقط تسارعاً طفيفاً إضافياً . فمسار الكوكب ينحني قليلاً وباستمرار عن الخط المستقيم . وبعد عدة لحظات يجد الكوكب نفسه سائراً على دائرة لا على خط مستقيم . وبهذه الصورة نعلم أن هنالك قوة أثَّرت فيه » .

« هل يمكن تفسير كل الحركات بهذا الشكل ؟ » . ويجيب نيوتن عن هذا السؤال قائلاً : « إن قوانين الرياضيات التي شرحتها لكم تثبت ذلك . حتى أنها تُظهر شيئاً آخر . فقانوني الثالث يحكم بأن الفعل يساوي رد الفعل . وهذا يعني أنك تفعل في الجسم الذي يحني مسارك أو يسبب لك تسارعاً مثل ما يفعل بك » .

ويجيب الطالب : « ولكن مهلاً ! صحيح أن الأرض تحني مسار القمر . ولكن هل يحني القمر أيضاً مسار الأرض ؟ » ويكون جواب نيوتن : « الأمر كذلك بالفعل . لكن القمر يعاني انحناء أشد لأن مادته

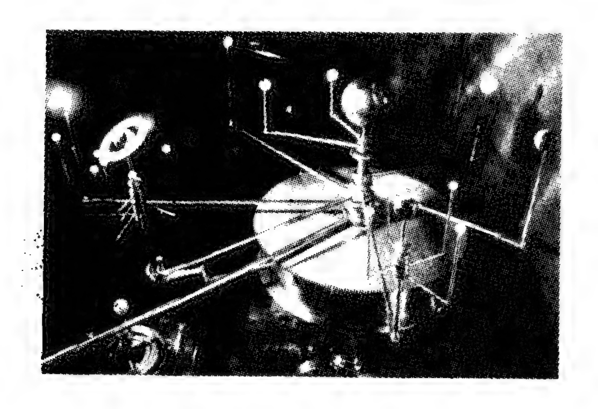
أقل . فالأرض تملك من المادة ستة أضعاف ما يملكه القمر ، ولذلك تعاني في مسارها انحناءً أضعف » .

يمكن أن نتخيل أسئلة كثيرة يطرحها تلاميذ نيوتن ، ويظل نيوتن يجيب عنها حتى حلول الليل . كان عند نيوتن جواب عن كل سؤال ، وكل الأجوبة مدعومة بالتحليل الرياضي . كانت قوانينه وآراؤه تجعل العالم يبدو أبسط وأعقد في الوقت نفسه .

فمن جهة أولى يبدو العالم أبسط لأن نيوتن قدم الأسس لتحليل أية حركة . إذا كانت الحركة منحنية يمكن العثور على السبب ، ويمكن للمرء أن يتنبأ بثقة تامة بما سيحدث للجسم الذي يتحرك . كانت وسائل نيوتن الرياضية تستند على العقيدة الراسخة بأن الحركة استمرارية مهما كان نوعها وأن بالإمكان تقسيمها إلى أجزاء . وأن هذه الأجزاء يمكن أن تدرس كلاً في حينه . وكل جزء يتبع قانوناً صارماً .

ومن جهة ثانية يبدو العالم أعقد لأن له أجزاءً عديدة جداً . وهذه الأجزاء تؤلف بمجموعها العالم كله . ولا يوجد شيء موضوع خارج هذا العالم . وإذا لاحظت أن حركة ما قد انحرفت عن قوانين نيوتن فما ذلك إلا لأن جسماً آخر حولها أثّر فيها . كان الكل ــ أو يجب أن يكون ــ مجموع أجزائه . كان العالم آلة . كان كل ما يؤثر في أي شيء جزءاً من هذه الآلة العظيمة . وكانت كل الآلات التي صُنعت في ذلك العصر تعمل متفقة مع هذا الفهم الجديد الذي قدمه تحليل نيوتن . وبذلك نشأت فلسفة رياضية ما لبثت أن أصبحت شائعة لدى الناس في نظرتهم إلى العالم الفيزيائي وغير الفيزيائي كليهما وعلى أساس ميكانيكي .

كان لا بد لكل مفعول من وجود سبب معروف ، ولا بد لكل سبب من مفعولات يمكن معرفتها . وبذلك أصبح المستقبل نتيجة للماضي . وقلما يستطيع أحد أن يغير شيئاً في هذا العالم ، حتى أن أفكارنا نفسها يجب أن تتفسر إلى حدٍ ما بهذه الآلية النيوتنية . لقد أطلقت « يد الله » هذه الآلة منذ الأزل ولا أحد يستطيع إيقاف حركتها . إن كل العواقب والأفكار وآراء البشر تحدث ناجمة عن هذا السبب الأول الذي حصل منذ دهر طويل . وبتعبير آخر ، لم يُترك شيء للمصادفة . كان كل شيء قد تحدد سلفاً بفعل من الله . لقد عُرف هذا المذهب باسم **الحتمية determinism** .



آلة نيوتن العظيمة

كابوس الحتمية

تصور قاعة استقبال فرنسية فخمة ، في حوالي عام ١٨٠٠ . وأن نبلاء من ذوي الشعر المستعار الأبيض واللباس الأنيق يقضون في هذه القاعة سهرة ممتعة ويتحدثون أحاديث تافهة . وفجأة يعلن الحاجب وصول فيلسوف وعالم مشهور : المركيز دو لا بلاس de Laplase . تتوقف الأحاديث وتنقلب إلى همسات . يدخل المركيز وينزوي الناس بكل هدوء وكأنهم يرحبون بملك في مجتمعهم . وبهذه المناسبة ربما بدا المركيز وكأنه ممثل ــ فنان شهير . تُصفُّ الأرائك حوله على شكل نصف دائرة . ويعرِّف كل بنفسه .

كان بيير سيمون لابلاس ، المعروف بالمركيز ، قد أصبح حبيب جمهور الباريزيين من رواد حفلات استقبال طبقة النبلاء . كان معروفاً بفصاحته وثقته بنفسه حين يعرض آراءه في تفسير ألغاز ذلك العلم العويص المعروف باسم **الميكانيك السماوي** . كان يجذب انتباه سامعيه كلياً حين يتحدث لهم عن تلك العوالم الخارجية ، وكلهم مشدودون يصغون لحديث القوة**الفاعلة عن بعد** ، تلك التي أطلق عليها نيوتن اسم الثقالة . فبالرغم من شدة الفعالية التسارعية لهذا السبب الذي لم يره أحد ، رغم حضوره الدائم ، لا يوجد في هذا العالم حبال كونية .

إن هذا الكون ، بكل ما فيه من عوالم ، يذعن لقوانين محكمة ناجمة عن مبادئ موجِّهة واحدة . كان كل شيء ، وما زال ، قابلاً لأن نتنبأ به . وما عليك في سبيل ذلك سوى أن تجد القوة وتعرف ، في لحظة معينة واحدة ، كتل الأجسام المدروسة ومواقعها وسرعاتها . ولا أهمية لماهية الأجسام ، سواء كانت كواكب أو نجوماً أو مداحل ــ إنها كلها ضحايا القوة .

إن العالم الكوني آلة ميقاتية نيوتنية عملاقة ، يتوالى فيها السبب والمفعول . ولا شيء يحدث بمحض المصادفة . كل شيء محسوب حسابه حتى النهاية . إقرأ كلمات لابلاس التالية :

> علينا إذن أن نعتبر حالة العالم الحاضرة على أساس أنها مفعول لحالته السابقة وسبب لحالته اللاحقة . فإذا وُجد عقل قادر على استيعاب كل القوى التي تحرك الطبيعة ومواقع الأشياء الداخلة في تكوينها ــ عقل ذو إمكانية تكفي لتناول هذه المعلومات بالتحليل ــ فإن هذا العقل سيكون قادراً على أن يسبك في صيغة واحدة حركات أضخم الأجسام في هذا العالم وحركات أصغر الذرات . كل شيء عنده سيكون مؤكداً ، وسيكون المستقبل ، كالحاضر ، ماثلاً أمام عينيه .

كانت الحتمية المطلقة ، من السكتة القلبية إلى نشوء الإمبراطوريات وسقوطها ، لا تخرج عن نطاق العمليات المحتومة التي تحدث في تلك الآلة العظيمة . كان الخضوع إلى قوانين الفيزياء قَدَرَ الكائنات كلها ، لأن من المستحيل عصيانها . كان الأمنية في فهم الطبيعة فهماً نهائياً تتمثل في اكتشاف القوة الخفية التي كانت سبب ما سيحدث . وبمجرد أن عُثر على هذه القوة لم يعد في هذه الدنيا مكان للإرادة الحرة أو الخلاص أو الدينونة أو الحب والكره . حتى أن أتفه الخواطر أصبحت في حكم المعيَّن منذ الزمن الغابر .

كانت الأخلاقيات والآداب والغرور والنزوات تعتبر ضرباً من المزاح . إنك تستطيع إذا شئت أن تتوهم نفسك إنساناً حر الإرادة ، لكن هذا الوهم نفسه ليس إلا من عمل تلك الآلة الكونية الذي ما يزال

علينا أن نكتشف طرائقه . كان استكشاف كيفية هذا العمل مهمة لا بد من إنجازها . أما مبدئياً فإن هذه الفلسفة المادية كانت تشكل حجر الأساس في دراسة هذا العالم .

كانت فكرة تلاشي الإرادة الحرة تسمى « كابوس الحتمية » . هذا لدرجة أن مفكري ذلك العصر وفلاسفته ، ممن لم يزعجهم هذا « الكابوس » ، تأثروا ببصمة التفكير النيوتني . وبما أن الفيزياء كانت قادرة على إعطاء تفسير جيد لعدد كبير من الظواهر الفيزيائية ، من حركات الكواكب إلى حركات جزيئات الغاز في صندوق مغلق وبوساطة بضعة مبادىء فقط ، فقد أصبح هذا العلم نموذجاً يحتذى في العلوم الأخرى .

كان مفكرو القرن الثامن عشر يحاولون منافسة الفيزياء في دقتها وشموليتها وطرائق عملها . فراحوا يبحثون عن قوانين عامة تفسر التاريخ والسلوك البشري . فقد قال كارل ماركس ، مثلاً ، بأن المادة هي الوعاء الوحيد للتغير ، وبأن كل تغير ناجمٌ عن الصراع الدائم بين القوى المختلفة الكامنة في كل الأشياء . وعندما تتغلب قوة على سواها يحدث التغير . وعلى هذا يرى ماركس أن الحركة الثورية لا يمكن أبداً أن تكون عملية تعاون بين الطبقة الحاكمة والطبقة العاملة ، لأن قوة إحدى الطبقتين يجب أن تتغلب على قوة مقاومة الطبقة الأخرى . كان صدى هذه النظرية ، المعروفة باسم **المادية الجدلية** dialectical materialism ، يشبه كثيراً قانون نيوتن الثاني ، الذي يؤكد أن القوة هي سبب التغير في المادة والحركة وأن المادة هي مسرح عمل القوة .

هذا حتى أن كلارنس دارو ، رجل القانون الذي دافع عن نظرية التطور في أحدى مرافعاته (man–key trial : محاكمة السعدان) عام ١٩٢٥ ، كان متأثراً بنيوتن . وفي واحدة أخرى من قضاياه المشهورة ، قضية جريمة القتل التي قام بها ليوبولد ولوب ، دافع دارو عن زبونيه بالإلحاح على أنهما كانا ضحيتين لعوامل الوراثة وقوى بيئة الوسط الاجتماعي . وبالرغم من وضوح جريمة المتهمين كان دفاع دارو عن القاتلين يستند على أنهما لم يكن لديهما أي خيار آخر في سلوكيهما ، أي أنهما كانا ثمرة سلسلتين من الأسباب تقودان بشكل لا مفر منه إلى موت ضحيتهما . حتى أن البيئة التي نشأ فيها القاتلان ليست سوى نتيجة لتلك السلسلة الطويلة . وعلى هذا كيف يجوز للمجتمع أن يعاقب الرجلين على ظروف لم يستطيعا التحكم بها ؟ إنهما ، كالرجل الذي قتلاه ، ضحيتان في هذه الجريمة . وهكذا لم يكن بمقدور أحد إيقاف الآلية النيوتنية .

من الممكن أن نتفهم تأثر لابلاس وماركس ودارو بالآلية النيوتنية لهذه الدرجة . ومن المؤكد أن تخيُّل الكل على أساس أنه ليس سوى مجموع أجزائه وأن فهم الأجزاء يقود إلى فهم الكل أسهلُ علينا من أن نتصور عالماً يتخذ شكلاً آخر . إذ ما الشكل الآخر الذي يمكن أن يتخذه ؟ ولماذا ؟ إن العقل نفسه لا بد أن يكون في أعماقه مجرد آلة ميكانيكية بالغة التعقيد . وبما أن العقل آت حتماً من المادة ، فكيف يمكن أن يكون غير ذلك ؟

ويرى سغموند فرويد بهذا الصدد أن العقل ، فعلاً ، لا بد أن يتجلى كنتيجة مباشرة لأساسه المادي . كان فرويد يربط بعض الأحلام بأفكار بدائية ، كالخرافات والتقاليد . كان يقول بأن تلك الأحلام

تعكس « مخلَّفات عتيقة » ـــ عناصر نفسية ظلت عائشة في المخ منذ عصور طويلة . أي أن العقل الباطن كوم من النفايات . فلا عجب إذن إذا أحسسنا بالذنب ، لأننا لا نكابد وزر أعمالنا الشخصية وحدها ، بل نعاني أيضاً من أوزار ما فعله أجدادنا الذين ربما كانوا قد اقترفوا عمليات اغتصاب أو قتل أو نهب في غضون آلاف السنين السالفة .

كان إليوت Hugh Elliot (١٨٨١ ـــ ١٩٣٠) ، ناشرُ السجلّ السنوي الانكليزي في زمن الانتقال من الميكانيك التقليدي إلى ميكانيك الكم ، بطلاً من أبطال المذهب الميكانيكي المادي . وقد وضع ثلاثة مبادىء : (١) إن قوانين العالم منتظمة ، ولئن ظهر العالم أحياناً بمظهر فوضوي فإن الفحص العلمي الدقيق ينبئ بأن هذه القوانين الشاملة لا بد أن تُطاع ، (٢) إن الغائية teleology خرافة ، لأنه لا يوجد شيء يمكن أن يُعتبر غاية مقصودة بهذا العالم وكل ما يحدث فيه ناجم عن تفاعل المادة في الحركة ، (٣) إن كل أشكال الوجود يجب أن تتمتع بنوع من الخصائص والصفات المادية الملموسة . وقد كتب قائلاً :

> يتراءى للراصد العادي أن لا شيء يمكن أن ينفصل بعيداً عن سواه أكثر مما ينفصل ذلك الذي يُسمى « فعل الوعي » عن الشيء المادي . إن فعل الوعي ، أو العملية الذهنية ، شيء ننتبه له فورياً ودون أدنى ريب : هذا ما أومن به . أما أن يكون هذا الفعل مختلفاً ، بأي شكل من الأشكال ، عن العملية المادية ، أي عن التحولات العادية للمادة والطاقة ، فذلك ما أرفضه بكل إصرار .

أنا أحب أن أستشهد بأقوال إليوت ، لأنه واحد من القلائل الذين عبروا عن ثقة كثقته بعالم مادي برمته . حتى أنه ذهب إلى القول بأنه « لا يوجد أي نوع من الهيولة الروحية أو سواها يختلف بطبيعته عما تتألف منه المادة .. لا يوجد نوعان أساسيان من الوجود ، بل نوع واحد فقط .. » .

لم تعد الفيزياء التقليدية في نهاية القرن التاسع عشر النموذج الوحيد في فيزياء العالم فحسب ، بل وفي السلوك البشري أيضاً . وقد نمت الموجة الميكانيكية المادية ، التي بدأت كجعدة صغيرة في التيار الفكري للقرن السابع عشر ، حتى اكتسحت كل مجال وطغت على الفكر الإغريقي كله . فراح الفيزيائيون يتحرون الأشياء الميتة وشرع الأطباء يبحثون في الآلة الميقاتية للناس الأحياء .

وعلى هذا الطريق نسي المفكرون مقولة ديكارت « أنا أفكر ، فأنا أكون » . أو أنها بالأحرى انعكست فأصبحت « أنا أكون ، فأنا أفكر » . وجاء عصر البحث عن الحقيقة الموضوعية ، عن السبب والمفعول وعن النظام الخفي . كان جو الفيزياء آنئذ صافياً .

وبمناسبة الحديث عن مستقبل العلم قال أحد النظريين الأعلام بأن مهمته تقتصر الآن على « إضافة بضعة مراتب عُشرية على النتائج التي لدينا اليوم »[*] . لكن كان هناك مع ذلك آخرون لم يعبروا عن مثل

(*) لقد صدرت هذه المقولة عن مايكلسون عام ١٨٩٤ ، معتقداً أنه استشهد بلورد كلفن . لكنه اعترف فيما بعد بأنه ندم على هذا القول .

هذا الإيمان بالعالم الميكانيكي . كان أحد هؤلاء الأفراد القلائل ، الرجلُ المعروف باسم لورد كلفن Kelvin ، قد أصبح حجة في الأوساط الأوربية في منتصف القرن التاسع عشر . وقد قال في نهاية ذلك القرن إنه لا يرى سوى غمامتين سوداوين تعكران صفو السماء النيوتينية . كانت هاتان الغمامتان أحجيتين كان يمكن ، لولاهما ، ان يكون التفسير الميكانيكي للضوء والحرارة مثالياً .

تفسير الضوء والحرارة .. بشيء مفقود

لقد استُكملت صورة العالم هذه في نهاية القرن التاسع عشر . وشعر العلماء بأنهم فهموا العالم الفيزيائي ، وأصبح النموذج الميكانيكي النيوتني يُستخدم لتفسير كل شيء ، حتى تلك الصفات التي كان يشعر أرسطو بأنها لا يمكن أن تتفسر على أساس أنها أجزاء من الكل ، أو من الآلة . كان العلماء بذلك تواقين إلى العثور على تفسير ميكانيكي للأجزاء اللامرئية ينجزون به صورة العالم المادي . كان أمامهم فرعان من الفيزياء يحتاجان إلى تفسير : الحرارة والضوء .

كان الفيزيائي الإيطالي أماديو آفوغادرو قد صنع ، في القرن الثامن عشر ، نموذجاً للغاز على أساس أنه يتألف من جسيمات صغيرة عديدة . وكان روبرت بويل قد اكتشف في القرن السابع عشر القوانين العامة التي تربط ضغط الغاز بالحجم الذي يحتله . وفي عام ١٨٠٠ اكتشف جوزيف لويس غي ــ لوساك تأثير السخونة في غاز محصور ووجد أن تسخين الغاز يؤدي إلى تزايد حجمه إذا ظل الضغط المسلَّط عليه ثابتاً . وما لبث العلماء أن أدركوا أن الحرارة ليست سوى تعبير عن الحركات السريعة لجسيمات الغاز الصغيرة . أي أن الحرارة ليست سوى الطاقة الحركية لجزيئات المادة .

لكن هناك شيئاً مفقوداً . كيف تصل حرارة الشمس إلى الأرض ؟ هل يوجد جسيمات على طول الطريق بين الشمس والأرض ؟ وهل حركة هذه الجسيمات تنقل حرارة الشمس من مكان لآخر ؟ كان يُعتقد أن الفضاء بين الشمس والأرض خال تماماً ، مما يعني أن الحرارة لاتتفسر بحركة الجسيمات فحسب ، لكنها وبشكل ما ، يمكن أن تنتقل دون حاجة إلى وسط مادي . وهي ، على هذا الصعيد ، تشبه شكلاً آخر من أشكال الطاقة هو الضوء . وهكذا بدأ عدد من العلماء ، في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، يقبلون فكرة أن الحرارة والضوء متطابقان ، كيفياً على الأقل . والضوء ، عند نيوتن ، يتألف من جسيمات صغيرة ، حبيبات قادرة على السير في الخلاء ، فكان ذلك يفسر انتقال الضوء من الشمس إلى الأرض . كان الضوء إذن هيولة ، والحرارة أيضاً كانت تعتبر هيولة . هكذا كانت الصورة حتى حوالي عام ١٨٢٠ .

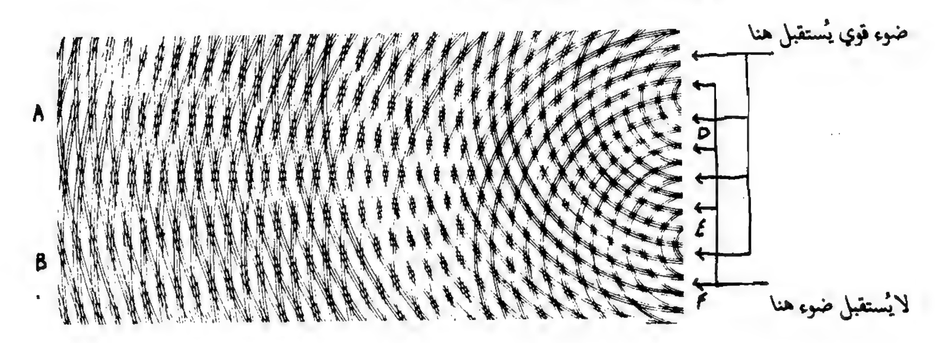
لكن توماس يونغ Young اكتشف للضوء خاصية تشذ عن صورة نيوتن الحبيبية(*) . فقد وجد

(*) لم يكن إعلان يونغ ، بأن نتيجته تدعم نظرية الضوء الموجية ، ليلقى قبولاً حسناً في الوسط العلمي . بل قوبل بالاستنكار والسخرية ، لأنه تجرأ على معارضة نظرية نيوتن الجسيمية المقدسة . وقد كتب الهاوي العلمي السياسي

أن جسيمات الضوء يمكن بطريقة ما أن تتداخل بعضاً في بعض . ولا يمكن تفسير صور التداخل الناجمة عن الضوء ، عندما يذهب من منبعه إلى الشاشة ، على أساس أن الضوء جسيمات . والذي اكتشفه يونغ يمكن أن يراه أي إنسان إذا نظر بعينه إلى منبع ضوئي (غير الشمس لأنها شديدة النور جداً) من خلال الفرجة الضيقة بين إصبعين مفتوحتين يلصق إحداهما بالأخرى ، عندئذ تحل شبكية العين محل الشاشة التي استعملها يونغ ، ويرى المرء عندئذ سلسلة أهداب مستقيمة ، مظلمة ومضيئة على التناوب ، تسمى هذه الأهداب **صورة تداخل** وهو لا يتولد إلا إذا كان الضوء أمواجاً ، لا جسيمات . فتناوب الأهداب المضيئة مع الأهداب المظلمة ناتج عن أن أمواج الضوء تتراكب (تتداخل) بعضاً مع بعض .

إن هذا التداخل يحدث بسبب الحركة الاهتزازية للموجات . فكل الأمواج تتولد من الاهتزازات في الوسط الذي تنتشر فيه الموجة . فالإحساس بالطرب عند سماع صوت جميل ليس أكثر من التكرار المتواصل لاهتزاز ذرات الهواء التي تلامس طبلة الأذن . والتناغم الشهير لرباعية حلاق إشبيلية ليس سوى تداخل أربعة توترات (ترددات) **frequencies** اهتزازية مختلفة صادرة عن أربعة مغنين . والموجات الضوئية ، هي الأخرى ، يمكن أن تتداخل معاً فتعطي « تناغماً ضوئياً » ـــ صورة تداخل : الأهداب المظلمة والمضيئة .

(الشكل ٩)
رسمة يونغ الأصلية، تبين مفعولات التداخل المتوقعة عندما تتراكب أمواج قادمة من الشقين A و B (ضع عينك قرب الحافة وانظر للرسمة مماسياً). لا يرى ضوء على الشاشة في مناطق ورود ضوأين ، من A و B، متداخلين تداخلاً هدّاماً.

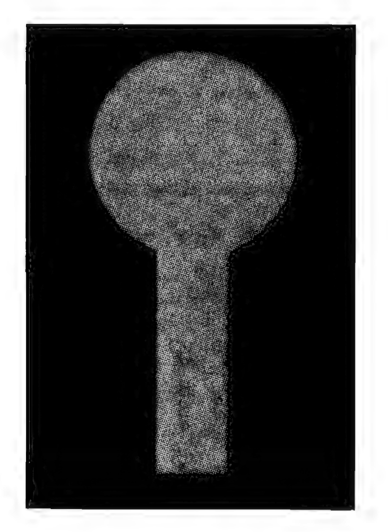


إن الأهداب المظلمة تقع عند تلاقي قمم إحدى الموجتين مع وديان الموجة الأخرى . ونحن في الظروف العادية لا نرى صور التداخل ، لأن ارتفاع قمم موجات الضوء وانخفاض وديانها صغيران

═ البريطاني هنري بروغام في مجلة ايدنبرغ عام ١٨٠٣ أن « ورقة يونغ لا تحوي أي شيء يسيء إلى اسم التجربة أو اسم الاكتشاف وأنها .. لا تستحق شيئاً . ونحن نريد أن نرفع صوتنا استنكاراً لهذه البدعة التي لا يمكن إلا أن تعوق تقدم العلم وتبعث كل تلك الأشباح الوحشية للتهيؤات التي ... طردها نيوتن من معبد العلم » .

جداً . أما إذ أجبرنا هذه الأمواج على عبور ممرات ضيقة ، كالفرجة بين إصبعيك الملتصقتين ، فإنها تنعطف بعضاً ضمن بعض . والصورة الهدبية ناجمة عن هذا الانعطاف (الذي يسميه الفيزيائيون **انعراجاً** diffraction) .





تداخل موجي ضوئي يتشكل لدى عبور الضوء ثقب مفتاح ضيق .

إن انعطاف أمواج الصوت مألوف لدينا أكثر من سواه . فنحن نعرف مثلاً أن العربات تحمل بوقاً ذا فوهة جدارها منعطف نحو الخارج ، وعندما يزمر البوق تنعطف الأمواج الصوتية مع انعطاف الفوهة وتصل إلى آذاننا .

وبمجرد أن اكتشف يونغ أن الضوء أمواج كان لا بد من أن يخطر بالبال أن الحرارة أمواج أيضاً . إنهما يسيران معاً في الفضاء الفاصل بين الشمس والأرض متحركين كما تتحرك الأمواج . لكن هذه الصورة كانت تنطوي على مشكلة عويصة . إن الأمواج يجب أن تتحرك في شيء ما . إنها لا تسير في الخلاء . كان ذلك بديهياً لعلماء القرن التاسع عشر . فقد تأكدوا أن الميقاتية الدقاقة يخفت صوتها إذا وُضعت في صندوق زجاجي محكم الإغلاق يُخلى من الهواء بالتدريج ، إلى أن يختفي الصوت تماماً عندما يصبح الصندوق شبه خال من الهواء تماماً . إن الأمواج الصوتية تتموج في الهواء . وعلى هذا كان لابد لأمواج الضوء والحرارة من أن تتموج (تنتشر) في هيولة غير مرئية تملأ الفضاء كله .

أطلق العلماء على هذه الهيولة اسم « الأثير ether » المستمد من الصورة التي رسمها الفكر الإغريقي القديم لهذا العالم . ورغم أن الأثير غير مرئي كان عليه أن يكون ضرباً من المادة رهيفاً لدرجة أن لم يكتشف أحد وجوده . لكن كان يوجد ملامح أخرى لوجوده ، وكانت تظهر كنتيجة لاكتشافين لا يبدو أن بينهما

أية رابطة . كان الاكتشاف الأول هو أن الكهرباء يمكن أن تتحول إلى مغنطيسية وأن تعود لتصبح كهرباء من جديد .

كان ميكائيل فارادي قد اكتشف أن التيار الكهربائي يمكن أن يخلق حقلاً مغنطيسياً ، وكان أن اخترع عبارة **حقل مغنطيسي** . كما أنه صنع تركيباً كان السلفَ الأول للمولّدات الكهربائية الحديثة . فبتدوير قضيب مغنطيسي قرب حلقة سلكية معدنية مغلقة أثبت فارادي أن الحقل المغنطيسي يستطيع أن « يحرّض » في السلك تياراً كهربائياً . وبتعبير آخر ، تبين أن المغنطيس المتحرك قادر على توليد تيار كهربائي . كان هذا الاكتشاف الذي أتاح تحويل المغنطيسية إلى كهرباء ، والكهرباء إلى مغنطيسية ، عاجزاً بحد ذاته عن حمل عبء فكرة الأثير . لكنه يوحي بأن الكهرباء والمغنطيسية يمكن أن تتبادلا الأدوار وأن هذا التبادل ، المسمى اليوم **بالكهرطيسية** ، قاد إلى الاكتشاف النظري للأمواج الكهرطيسية .

وفي عام ١٨٦٠ أصبحت فكرة الكهرطيسية مقبولة.فقد اكتشف الانكليزي مكسويل ، من خلال محاولاته في صنع نموذج رياضي لاكتشاف فارادي ، أن تحول الكهرباء إلى مغنطيسية والمغنطيسية إلى كهرباء يمكن ، نظرياً ، أن يتكرر . والواقع أنه كان من الممكن نظرياً تكرار هذه العملية بسرعة كبيرة جداً جداً . وهذا ما قاد مكسويل إلى فكرة الاهتزازات الكهرطيسية . لكن هذه الاهتزازات لم تكن سوى نظرية رياضية . كان التنبؤ بها حبراً على ورق . لكنها طرحت السؤال التالي : هل يمكن أن تُرصد ؟ وما الشكل الذي يمكن أن تتخذه ؟

بينما كان مكسويل يعالج هذه الأسرار خطر له أن الأمواج الضوئية التي اكتشفها يونغ بالتجربة قد يمكن توليدها بالاهتزازات الكهرطيسية التي أسفرت عنها نظريته . ولدى التنقيب في معادلاته وقع على شيء مدهش : كان للمعادلات التي تصف الاهتزازات الكهرطيسية حلول تصف أمواجاً كهرطيسية تسير بسرعة الضوء ! فهل الأمواج الضوئية اهتزازات كهرطيسية ؟ وإذا كان الأمر كذلك فما الشيء الذي يهتز ؟ كان نجاح محاولات مكسويل ، في البرهان على أن الأمواج الكهرطيسية قادرة نظرياً على السير بسرعة الضوء ، إضافة إلى اكتشاف يونغ أن الضوء يمكن تجريبياً أن يتداخل مع نفسه ، برهاناً مقنعاً على أن الضوء أمواج كهرطيسية . ولما كانت الحرارة أيضاً قادرة على السير عبر الفضاء بسرعة الضوء فلا بد أن تكون هي الأخرى أمواجاً كهرطيسية .

وفي عام ١٨٨٧ حظيت نظرية مكسويل أخيراً بدعم قوي من تجارب هاينريش هرتز H.Hertz . لقد نجح هرتز في إثبات أن موجة كهرطيسية من إشعاع غير مرئي قد صدرت في تجاربه عن تيار كهربائي مهتز . ومن هنا اخترع هرتز أمواج الراديو . وكان قادراً أيضاً على اثبات أن هذه الإشعاعات اللا مرئية كانت بالفعل أمواجاً تتمتع بكل خصائص التداخل والانعطاف الموجيين وما إلى ذلك مما تتمتع به أمواج الضوء المرئي . ومن هذه التجارب ، في كشف الأمواج الكهرطيسية وتوليدها ، اقتنع الجميع بأن الضوء ، والحرارة أيضاً ، أمواج كهرطيسية .

ومع ذلك ظل قائماً ذلك السؤال العويص : كيف يتاح لهذه الأمواج أن تسير من منابعها إلى

مصابّها وفي الخلاء ؟ أي بتعبير آخر ما الشيء الذي يهتز لدى مرور الموجة به ؟ كان افتراض العلماء يقول بأن الذي يهتز هو هيولة الأثير . لكن لم يستطع أحد قط أن يكشفه مباشرة . ولم يره أحد قط .

الأثير مفقود

كانت الغمامة السوداء الأولى التي ذكرها لورد كلفن قد ظهرت في السماء النيوتنية الصافية عام ١٨٨٧ عندما حاول مايكلسون A.A.Michelson ومورلي E.W.Morley ، الأستاذان في معهد كليفلاند ، التأكد من وجود الأثير بين الشمس والأرض . كانا مقتنعين تماماً بوجوده . إذ كانت تجارب يونغ ونظرية مكسويل قد « أثبتتا » أن الضوء موجة ، ولا بد إذن للضوء من هيولة مادية يسير فيها وتملأ الفضاء بين الشمس والأرض .

كانت تجربتهما تقضي بقياس سرعة الأرض بالنسبة لذلك الأثير الساكن سكون الموتى . كان نجاحهما في انجاز هذا القياس سيؤدي إلى قناعة حاسمة بوجود الأثير . لكن إجراء هذه التجربة لم يكن سهلاً لسوء الحظ . كان الوضع يشبه وضع قطيع من السمك يحاول اكتشاف وجود الماء من حوله . وفي سبيل ذلك يجب على السمك أن يكتشف مويجات في ذلك الماء ، وعلى هذه المويجات أن تنتقل من سمكة لأخرى وبسرعة معينة ثابتة .

إننا نستطيع اليوم أن نلحظ السرعة الثابتة لحركة الأمواج على سطح الماء ، وذلك برصد الأمواج المنطلقة من قارب يدفعه المحرك على سطح هذا الماء . إن هذه الأمواج تبتعد عن القارب بسرعة ثابتة . لكن القارب يستطيع زيادة سرعته ، وعندئذٍ يستطيع أن يلحق بالأمواج التي يولدها . وفي مثال آخر نعلم اليوم أن بعض الطائرات النفاثة تبلغ أحياناً سرعة تفوق سرعة الصوت ، أي أنها تسير في الهواء بأسرع من الأمواج الصوتية الصادرة عنها . ومفهوم جدار الصوت المشهور ناجم عن انضمام الأمواج الصوتية ، ذلك الانضمام الذي يحدث عند مقدمة الطائرة لدى اقترابها من سرعة الصوت . وعندما تخترق الطائرة هذا الجدار يُسمع صوت انفجار .

بهذه الطريقة يمكن للأسماك في الماء أن تقيس سرعة حركتها فيه ، فتتأكد من وجوده بقياس سرعتها بالنسبة لسرعة الأمواج المائية . وبذلك تستطيع الأسماك أن تؤكد أن الماء موجود دون شك ، لأنها استطاعت أن تلاحظ تغيرات في سرعتها عبر الأمواج التي ولدتها في ذلك الماء . إن كل ما على الأسماك أن تفعله لقياس سرعة حركتها بالنسبة للماء هو أن تتحرك مبتعدة عن الموجة وأن تعود بعد ذلك إلى التحرك باتجاه الموجة والموجة تقترب منها . فمن وجهة نظر الأسماك تبدو الموجة المائية أسرعَ حركة عندما يسبح السمك نحوها ، وأبطأ حركة عندما يبتعد السمك عنها .

كان مايكلسون ومورلي يجهزان نفسيهما ليكونا سمكاً في الأثير . لكن الأمواج التي سيريدان رصدها كانت ، بالطبع ، أمواجاً ضوئية . كان الفرق في السرعة سيثبت على الأقل أن الأثير موجود ــ تلك المادة

الرهيفة التي تملأ كل « خلاء » وتوفر للأمواج الضوئية وسطاً تسير فيه .

كان الإخفاق نتيجة هذه التجربة المحزنة . ذلك أنهما لم يلحظا أي شيء من ذلك الفرق المتوقع ، برغم أن التجربة كانت قادرة تماماً على قياس الفرق الصغير في سرعة الضوء ، الفرق الذي كان على حركة الأرض في الأثير أن تولده . وقد ذُهل هذان العالمان من هذه النتيجة السلبية . لكنهما اعتُبرا فيما بعد الرائدين الأولين في اكتشاف ثبات سرعة الضوء ، هذه الفكرة التي أصبحت بعدئذ حجر الأساس في نظرية أينشتاين النسبوية الخاصة . لكن رجال العلم ، في ذلك الوقت من القرن التاسع عشر ، لم يجدوا وسيلة للتوفيق بين عدم وجود الأثير وبين الصورة الموجية للضوء . وبقيت مسألة انتقال الضوء من هنا إلى هناك سراً مغلقاً .

كارثة فوق البنفسجي

في ذلك الحين ظهرت أيضاً الغمامة السوداء الأخرى في السماء النيوتنية الصافية : الأشياء الساخنة تتوهج . إنها تتوهج بألوان مختلفة لدى الإمعان في تسخينها . انظر إلى المصباح الضوئي وهو بارد تشاهد ما بداخله واضحاً للعيان . يوجد في المصباح سلك دقيق مرئي يمر فيه تيار كهربائي ضعيف . عندما يشتد التيار يبدأ السلك بالتوهج . يحمرُّ في البدء ويتغير لونه بالتدريج . كلما اشتد التيار تشتد سخونة السلك . وكلما ازدادت سخونة السلك يتغير لونه . والسؤال الآن هو : لماذا ؟

من المسؤول عن تغير لون الضوء ؟ إن كل الأجسام ، كسلك المصباح الكهربائي وحديدة وسم المواشي ، تصدر ضوءاً بالتسخين . وفوق ذلك إذا مرَّرنا الضوء الأبيض عبر قرنة زجاجية ، أي موشور زجاجي ، ثم استقبلنا الضوء البارز من هذا الموشور على شاشة بيضاء ، نرى على هذه الشاشة تشكيلة ألوان عديدة مصطفة على شاكلة قوس قزح . والواقع أن قوس قزح ليس سوى تشكيلة ألوان الطبيعة نشأت من تحلل (انفصال) ضوء الشمس في أثناء اختراقه للمواشير الصغيرة المؤلفة من قطيرات الماء الباقية معلقة في الجو بعد سقوط المطر . ويطلق على توالي هذه الألوان اسم **طيف الضوء** .

إن ضوء الشمس يتحلل إلى طيف متوازن من الألوان . ففيه مقادير متساوية من الألوان . ولهذا السبب يظهر لدى امتزاج ألوانه معاً « أبيض » اللون ، أو بالأحرى عديم اللون . إن كل المواد ، مهما كانت طبيعتها وتركيبها الكيميائي ، تصدر ضوءاً بالتوازن نفسه إذا سُخِّنت إلى درجة الحرارة نفسها . واختلال هذا التوازن في طيف الألوان هو الذي يُسفر عن تغير لون الضوء الصادر عن سلك المصباح بالتسخين المتزايد ، أو عن أي جسم آخر يُسخَّن بالتدريج . فهذا الميزان (أي نسب الألوان في الضوء الصادر) يتعلق بدرجة الحرارة التي يبلغها السلك المتوهج .

وهكذا نستنتج أن اللون المميز للجسم ، مهما كان نوعه ، يتغير بشكل يمكن التنبؤ به ، من جراء تسخينه التدريجي إلى سخونات (درجات حرارة) أعلى فأعلى . إن الأجسام الباردة تُصدر ضوءاً غير

ظاهر . والقضيب الذي نحرك به النار يحمر لونه . وفي سخونة أعلى يميل نحو البرتقالي المصفرّ ، ثم يصبح أزرق بالتسخين الشديد . انظر إلى عود ثقاب مشتعل تلاحظ أن اللهب له ألوان مختلفة متوالية فيه . فسخونة اللهب ليست واحدة في كل مناطقه ، لكنها أشد في المناطق الأكثر زرقة ، فكن على حذر .

عندما نفحص الطيوف الصادرة عن أجسام شتى في درجات حرارة مختلفة نجد أن الألوان المختلفة تصدر بمقادير مختلفة . وتغير هذه المقادير اللونية هو الذي يغير اللون المميِّز للجسم المتوهج . لكن كلما أصبح الجسم أسخن مال لونه نحو الأبيض أكثر ، أي أن طيفه يقترب من التوازن (على شاكلة طيف الشمس) . كان المنتظر من العلاقة بين سخونة المادة ولون الضوء الصادر عنها أن تكون علاقة ميكانيكية . إذ كان من المعلوم ، منذ أعمال غي ــ لوساك عام ١٨٠٠ ، أن تزايد السخونة (درجة الحرارة) يؤدي إلى تزايد الطاقة الحركية لجسيات المادة المسخَّنة ومن ثم إلى تزايد سرعاتها . وبما أن المادة مؤلفة من ذرات يجب على هذه الذرات أن تتحرك (إذا كانت المادة غازية) بفعل التسخين أو أن تهتز جيئة وذهاباً(إذا كانت المادة صلبة) بسرعة متعاظمة . وبذلك كان من المتوقع أن تتعين ألوان الضوء بشكل ما ، بحركات تلك الذرات الصغيرة ، أو باهتزازاتها ، أي أن تواتر الضوء الصادر يجب أن يكون مساوياً تواتر اهتزازات ذرات المادة الساخنة .

وبعد أن نجح مكسويل وهرتز في البرهان على أن الموجة الضوئية اهتزاز كهرطيسي توقع العلماء أن تكون ألوان الضوء المختلفة الصادرة عن الجسم المسخن ناجمة عن التواترات الاهتزازية المختلفة لذرات المادة . وبما أن تواتر موجة الضوء الأحمر أقل من تواتر موجة الضوء الأزرق ، ظل رجال العلم يفكرون ، رغم فشل اكتشاف الأثير ، أن بين اللون وتواتر اهتزاز الذرة علاقة من نوع ما .

كانت كل تلك الحقائق ، التي تخص الأجسام المتوهجة الساخنة وألوان الضوء الصادر عنها ، معروفة في نهاية القرن التاسع عشر . كان لورد رايلي **Rayleigh** ، الخبير عصرئذ بالأمواج الصوتية ، قد حاول أن يفسر ألوان الأجسام الساخنة على أساس الصورة الموجية للضوء . وبموجب هذه الصورة كان يجب على طاقة الضوء الصادر عن الأجسام المتوهجة أن تكون ميالة إلى أن تُحمل على تواترات عالية لا على تواترات منخفضة . كان السبب في ذلك « اقتصادية » الموجة الضوئية . إذ يوجد علاقة تناسب عكسي مباشر بين تواتر الموجة وطولها (طول الموجة هو المسافة بين قمتين متواليتين) . أي أن تزايد التواتر يؤدي إلى تناقص طول الموجة بالمعدل نفسه . والأمواج القصيرة جداً(وبالتالي التواترات العالية جداً) متفوقة في قدرتها على الاستفادة من الفضاء الذي تجد نفسها حائمة فيه . ذلك أن للأمواج القصيرة ، في التلاؤم مع أي حيز مكاني ، أساليب تفوق في عددها أساليب الأمواج الطويلة ، وهذا العامل الهندسي يؤثر في أي جسم متوهج ويحفز على انتاج أمواج قصيرة لا أمواج طويلة ، أي تواترات عالية لا تواترات منخفضة . وهذا يعني أن قضيب تحريك النار يجب أن لا يكون أحمر ، بل أزرق . وليس هذا نهاية الأمر معه . بل إن القضيب المتوهج بالأزرق يجب أن لا يكون أزرق ــ يجب أن يتوهج بفوق البنفسجي (« لون » ذو تواتر أكبر من تواتر البنفسجي وهو غير مرئي) ، في حين أن القضيب فوق البنفسجي يجب أن يتوهج بضوء ذي

تواتر أكبر ، وهكذا دواليك . أي ، بتعبير آخر ، أن كل جسم حار يجب أن يُصدر طاقته الكهرطيسية محمولة على تواترات تتجاوز فوق البنفسجي . كانت هذه الحجة معروفة باسم « كارثة فوق البنفسجي » لكنها لم تكن كارثة إلا نظرياً لأن رايلي كان قد تنبأ بأن كل جسم مسخن لا يلبث أن يُصدر كل طاقته على تواترات تفوق تواترات الضوء المرئي . لكن كل من أشعل عود ثقاب يرى أن الألوان في لهبه مرئية تماماً . ومن عجز العلماء عن تفسير ضوء الأجسام المسخنة بالاعتماد على نظرية نيوتن الميكانيكية في إصدار الضوء نشأت الغمامة السوداء الثانية في السماء النيوتنية الصافية .

سؤال : لماذا يوجد كارثة فوق بنفسجية باستخدام الميكانيك التقليدي ؟
جواب : لأن الطاقة كلها تنحشر في أمواج أقصر فأقصر .



نهاية العصر الميكانيكي

رغم هاتين الغمامتين اللتين كانتا تعكران صفو سماء نيوتن الميكانيكية استمر رسم تلك الصورة . كان الجهد الذي بُذل فيها أكبر من أن يُهجر ، بما في ذلك الافتراضات التالية التي تخص العالم الفيزيائي ، والميكانيكي بالتالي :

(١) الأشياء تتحرك بشكل استمراري . أي أن الحركة في عالم الصغائر وعالم الكبائر على حد سواء ، استمرارية .

(٢) للحركة أسباب . وهذه الأسباب تعتمد على أسباب أخرى أقدم منها . وعلى هذا فإن الحركة معينة مهما كانت ، ويمكن التنبؤ بكل شيء .

(٣) يمكن تحليل كل حركة أو تقسيمها إلى أجزائها المركّبة . ويؤدي كل جزء دوره في الآلة العظيمة التي تسمى العالم ، كما يمكن اعتبار هذه الآلة المعقدة على أساس أنها مجرد حركة أجزائها المتنوعة ، حتى تلك التي تقع خارج إدراكنا .

(٤) الراصد يرصد ولا يشوش شيئاً ، حتى أخطاء الراصد غير البارع يمكن أخذها في الحسبان من خلال تحليل الحركات المرصودة التي تناولها الراصد .

لئن تبين فيما بعد أن هذه الافتراضات الأربعة خاطئة ، فإن اكتشاف الصورة الحقيقية استغرق قرابة خمسين عاماً . ومن اكتشاف سر حركة الضوء وتفسير سلوكه وعلاقته بالأجسام المتوهجة بالتسخين انطلقت ثورة كاسحة في دنيا العلم . وحلَّ الراصد المشوِّش محل الراصد النشيط .

القسم الثاني

عندما انبثق العالم



الفصل الثالث

الراصد المشوِّش

فعل اليائس ...
لا بد من تقديم تفسيرٍ نظري
مهما بلغت التكلفة
وبأي ثمن .

Max Plank

(حول اكتشاف الكمّ)

حركة العقول المعارضة

من كان يستطيع أن يتنبأ بما حدث ؟ من كان يتصور أننا نشوش العالم عندما نتعامل معه ؟ لو كان زينون وأرسطو حيين في منقلب القرن العشرين لربما كانا أخطرانا بذلك . إن العصر الميكانيكي الذي نشأ بشق النفس لم يلبث أن توقف .. ورغم ظهور شتى أنواع الآلات في القرن العشرين بدأنا نفقد الثقة في فلسفتنا الميكانيكية . إن العالم ليس آلة في نهاية الأمر وقد لا يكون مصنوعاً من ضم أجزائه الصغيرة معاً .

كان من شأن التنقيب في أعماق المادة والطاقة ، ومن تحليل الأمور تجريبياً ورياضياً ، أن جر الفيزيائيين إلى التخلي عن الصورة الميكانيكية الاستمرارية التي رسمها نيوتن للعالَم الفيزيائي . فالغمامتان السوداوان اللتان لفتتا نظر الفيزيائيين أجبرتاهم على هجر الاستمرارية .إن الأمواج الضوئية تسير دون حاجة إلى أي وسط تتموج فيه . والمواد المتوهجة الساخنة تُصدر طيفاً مستمراً قزحي الألوان ، لكن لا يمكن تفسير هذه الألوان بالافتراض المعقول القائل بأن الطاقة الضوئية تصدر بشكل استمراري عن المادة المتوهجة .

لم يكن ذلك سوى أول الغيث . فقد أصبح على الفيزيائيين أن ينظروا من جديد بعين الدهشة والتساؤل ، ومنذ عام ١٩٣٥ ، إلى الحقيقة الفيزيائية والعالم المادي كله . وقد نشأ بهذا الخصوص مذهبان في التفكير مختلفان : فريق ظل يؤمن بالصورة الميكانيكية رغم وضوح تزعزعها ، وفريق رحَّب بالصورة الجديدة غير الميكانيكية ، بقفزاتها المتقطعة « شبه الزينونية » . صحيح أن المجادلات ليست جديدة على الفيزياء ، لكن الجدل بين هذين المذهبين ما زال قائماً حتى اليوم .

ومع ذلك كان يمكن لهذه الاكتشافات أن لا تحدث في وقت حدوثها لو كان « الفيزيائيون الجدد » قد تخلوا قبل ذلك التاريخ عن سوابق نيوتن وغاليليو في التحليل . كان الإغريقيون قد فعلوا ذلك قبل ألفي عام وأخفقوا في اكتشاف الكمّ ، أي تقطع الحركة الذي لا بد منه لتفسير كل العمليات الذرية وما دونها صغراً . كان من شأن هذا التقطع أن قاد اثنين من الفيزيائيين الجدد ، فيرنر هايزنبرغ **W.Heisenberg** ونيلز بور **N.Bohr** ، إلى العودة لتلك الصورة التي رسمها الإغريق لـ « الكلية » .

لقد رحب هذان الرجلان ، ربما أكثر من سواهما في فترة ذلك الاكتشاف ، بكمِّ الطاقة المتقطعة . لأن هذا الكمَّ كان يظهر في كل رصد ، حتى إن عملية الرصد بدأت تفقد موضوعيتها . أي أن الراصد لا بد أن يعطي ، أو أن يأخذ ، كمَّاً كاملاً من الطاقة إذا أراد أن يرى أي شيء . كان بالإمكان تجاهل هذا الكم تماماًفي سلّم ظواهر الحياة اليومية . لكن هذا التجاهل غير ممكن إذا أُريد رصد ما يحدث في دنيا الذرات . إن عملية الرصد تشوِّش الذرة ، أي أنها تدمِّر بعنف رغبتها في الاستقرار . إن فعل التوغل إلى دنيا الذرات يتسبب في تمزقات لا يمكن التحكم بها ، مع أن هذه التمزقات هي التي نعانيها في دنيا الذرات الصغيرة هذه .

إذا كنت تتلقى ضربة على يدك كلما حاولت أن تربت ولو بلطف على ظهر قطة صغيرة ، فهل يمكنك أن تستمر في اعتبار هذه القطة الغضة حيواناً أليفاً . إن القطط الصغيرة ودودة ، لكن هذه تعضّ . وعلى هذا تتغير نظرتك إلى القطط الصغيرة . فهل النموذج الميكانيكي خاطىء في دنيا الذرات ؟ إن التماس الذرات والتوغل فيها يقودان إلى صورة غامضة لما كان هدف تحرياتنا .

سنعرض في الفصول الخمسة القادمة قصة اكتشاف الكمّ . ففي الفصل الثالث سنرى كيف حصل اكتشاف الطبيعة الكمومية للضوء ، وكيف ظهرت قوانين رياضية جديدة في الفيزياء . أصبح الضوء يُعتبر في الوقت نفسه موجة في هيولة غير موجودة وسيلاً من جسيمات هيولية . أصبح القانون الجديد يعبِّر عن العلاقة بين الموجة والجسيم . إن الضوء يفعل فعلاً تمزيقياً عندما يتفاعل مع المادة . كان هذا الاكتشاف ثمناً دُفع في مقابل موت نظرية العالم الميكانيكي الاستمراري .

سنتكلم في الفصل الرابع عن نموذج المادة الجديد الذي اقتُرح . لقد طبق نيلز بور تلك العلاقة الجديدة بين الموجة والجسيم على مكونات الذرة فانبثق فهم جديد للضوء الصادر عن الذرة . في ذلك الوقت لم يُدرس الضوء الصادر عن المواد الصلبة والسائلة ، بل الضوء الذي يصدر عن الغاز ـــ أي الضوء الذي يصدر عن أفراد الذرات نفسها . إن طيف الإصدار المتقطع للضوء يعني أن الذرة تعاني في أحشائها حركات قفزية متقطعة . أما الفصل الخامس فيعرض محاولات الفيزيائيين في رسم صورة للحركات القفزية المتقطعة باستخدام ريشة الأمواج . كان الفيزيائيون يحاولون إنقاذ الميكانيك بصنع صورة للمادة تكون ذات امتداد مكاني ؛ أي أنهم تخيلوا للمادة طبيعة موجية ، وما لبثت هذه الموجات ذات الطبيعة المادية أن اكتُشفت في أمريكا بعد قليل ، فكانت مفاجأة مذهلة للكثيرين .

لكن هذه الصورة الموجية لم تكن خاتمة المطاف . إنها تقطعية هي الأخرى . وهي كسابقاتها تقود إلى مفارقة . فانهمك العلماء في البحث عن فهم جديد . وسوف نناقش في الفصل الخامس محاولات العلماء في سبيل العثور على حل منطقي لعجائب المادة والضوء . إذ أنهم اضطروا إلى التخلي عن فكرة المادة ـــ الموجة ، وحل محلها فكرة أن الموجة ليست موجة حقيقية بتاتاً ، بل مجرد مفهوم . وقد دُعيت هذه الفكرة باسم **التفسير الاحتمالي** . لكن هذا التفسير يقود ، كما هو متوقع ، إلى مفارقة أخرى . وهكذا وجد علماء الثلث الأول من القرن العشرين أنفسهم أمام علبة بندورا (*) ، وعادت إلى الظهور أفكار قدماء الإغريق في « الكلية » غير المجزأة .

لكن هذا أيضاً لم يكن خاتمة المطاف . فالأفكار الجديدة في كل مجال تلقى معارضة من المحافظين . كان ميكانيك الكم لقمة أكبر بكثير من أن يستطيع ابتلاعها مجموعة كبيرة من الفيزيائيين الرجعيين يقودها واحد من مبتدعي فكرة الكم اسمه ألبرت أينشتاين .

(*) امرأة حكيمة من صنع الآلهة في أساطير الإغريق . أهداها كبيرهم علبة ربانية حظر عليها فتحها . ففتحها زوجها خلسة فخرجت منها كل أنواع الخير والشر ، ولم يبق في قعرها غير الأمل . (المترجم)

وفي الفصل السابع سوف ننظر في المحاولات المبذولة للتوفيق بين فكرة الكم وصورة الاستمرارية في الميكانيك النيوتني . كان بور وأينشتاين أول زعيمين للفريقين المتعارضين . لكن كليهما يعترف بأن الأفكار القديمة لم تعد صالحة للعمل . إن مجادلاتهما وتواصل جهودهما للتوفيق بين رؤيتنا للعالم الفيزيائي وبين ما اختبرناه منه لا بد أن تكون ذات حصيلة مفيدة .

إن هذا الجزء من قصتنا يبدأ مع ماكس بلانك M.Planck . كان بلانك ، كالعديد ممن نسجوا على منواله ، قد عثر على اكتشافه بشكل نظري . وكسلفه البعيد زينون لفت بلانك نظرنا إلى أن في طرائق تفكيرنا شيئاً خاطئاً .

تحاشي كارثة حبوب الطاقة

كان لورد كلفن قد وصف هذه الظاهرة بأنها غمامة سوداء تغشى صورة الطاقة الضوئية في الميكانيك النيوتني . وقد أخفق الخبير المختص في الحركات الموجية ، لورد رايلي ، في جلائها . حتى أن معادلات مكسويل الرياضية ، التي أنبأت عن حقل كهرطيسي يتلوى ويرقص في الفضاء ، عجزت عن تفسير ذلك . وهكذا لم يستطع أحد أن يعرف كيف تتوهج الأجسام .

كيف تصبح الطاقة الحرارية طاقة ضوئية ؟ ولماذا تُصدر الأجسام الساخنة تلك الألوان التي تُصدرها ؟ كان الجميع يعلم أن ألوان الضوء تنبئ عن وجود أطوال موجية ضوئية مختلفة . إن قمم موجات الضوء الأحمر مفصولة فيما بينها بمسافات أطول من تلك التي تفصل بين قمم موجات الضوء الأزرق . وكلما قصُر طول الموجة ازداد تواتر الاهتزاز الذي تولده الموجة الضوئية . كانت هذه الأشياء مؤكدة جداً .

إن الضوء مصنوع من أمواج ، رغم فشل مايكلسون ومورلي في اكتشاف ما تتموج الموجة فيه . لكن لا بأس في ذلك . إن ألوان الضوء وتجارب يونغ كانت قد أقنعت الجميع بأن الضوء ظاهرة موجية . لكن المسألة تعود إلى معرفة كيف تتحول الحرارة المضافة إلى المهتزات في المواد المتوهجة ، الصلبة أو السائلة ، إلى ضوء .

في الرابع عشر من كانون الأول / ديسمبر عام ١٩٠٠ عرض أستاذ بطيء الكلام فصيح اللفظ في الثانية والأربعين من عمره فكرة غريبة أمام حشد مهيب من أعضاء الجمعية الفيزيائية الألمانية . أصبح هذا التاريخ فيما بعد تاريخ ميلاد الكمّ . في ذلك اليوم قدَّم الأستاذ ماكس بلانك عملية رياضية تُجنِّب ما كان معروفاًباسم « كارثة فوق البنفسجي » . فقد شرح لماذا لا تتحول الطاقة الحرارية دوماً إلى أمواج ضوئية فوق بنفسجية لا تراها العين . لكن هذا الشرح لم يكن بالنسبة لبلانك أكثر من ترف رياضي ، بداية طريق نظري غير معبد . لكن هذه البداية هي التي جلبت بلانك إلى الوقوف أمام الجمعية الفيزيائية في ذلك اليوم الشتوي القارس . كان بلانك ، قبل ذلك بستة أسابيع ، قد وصف ما عمله بأنه « تخمين سعيد » . لم



بلانك يحلم بتكهن صائب

يحدث هذا الاكتشــاف في أي مختبر ، بل حدث في ذهنه . لكنه لم يصدقه ، حتى بعد أن استخدم أينشتاين هذه الفكرة لشرح « بداية غير معبدة » أخرى بعد ذلك بخمس سنوات . لكنه شعر بشيء من التبرير الميكانيكي بأن « تخمينه » وشيك التحقق . تذكر أنه قد تجاوز سن الألمعية ــ كان أكاديمياً متحفظاً في منتصف العمر . كان ذا رغبة حماسية في تغيير تخمينه إلى « مقولة بخصوص المغزى الفيزيائي الحقيقي » . وقد روى هذه الحادثة بعد عشرين سنة في خطابه بمناسبة منحه جائزة نوبل : « بعد عدة أسابيع من أشق الأعمال في حياتي انجلى الظلام وبدأت تنفتح أمامي نافذة لم أكن أتوقعها » .

ماذا كان هذا الاكتشاف ؟ لقد ذُهل بلانك حين وجد أن المادة تمتص الطاقة الحرارية وتُصدر طاقة ضوئية ، كل ذلك بشكل متقطع ، أي بشكل رزم ، رزم غير متوقعةَ بتاتاً . ولكي نتصور دهشة بلانك ومغزى اكتشافه أطلب منك أن تتفكر في التشبيه التالي . يتناول هذا التشبيه الخبرة الشائعة المكتسبة من رمي حصيات في ماء بحيرة راكد . تذكر أن اكتشاف بلانك كان في سياق الشرح القديم . فقد كان بلانك ، كزينون ، رجل علم نظري . كانت وظيفته تقتصر على شرح ما يراه أو على تصحيح أفكارنا عندما يرى أنها غير صحيحة . والحقيقة أن هذه النظرة الجديدة قد قادت إلى فهم أحسن وإلى نبوءات تعتمد على هذا الفهم .

رمي حصيات في بحيرة كمومية

تخيل ، في هذا التشبيه ، أنك تقف أمام بحيرة هادئة في يوم صيفي وأنك ترمي حصيات في مائها الراكد . لا شك أنك تتوقع أن ترى نشوء مويجات تنتشر على سطح الماء انتشاراً مستمراً فور سقوط الحصيات في الماء . وكلما ازداد عدد الحصيات الملقاة في الثانية الزمنية الواحدة ازداد عدد المويجات الناشئة في الثانية الزمنية . أو هكذا تتوقع .

ولكن تخيل الآن أن بعض حصياتك قد سقطت في الماء وبلغت قعر البحيرة دون أن تثير أية مويجة . ثم تندهش حين ترى أن البحيرة كلها قد اكتست بمنابع مويجات منبثقة لا تلبث أن تختفي بسرعة ليعود سطح الماء ساكناً كما كان . ولا يبدو أن هناك أية علاقة مباشرة بين ظهور هذه المويجات وبين الحصيات التي سقطت في البحيرة . عندئذ تتوقف عن رمي الحصى وتنتظر . قد تظهر بعدئذ بضعة مويجات أخرى ، ثم تعود البحيرة هادئة كالمرآة . فماذا حدث ؟

وبعد تردد تعود فترمي حفنة حصيات أخرى . فلا يحدث ما يعكر هدوء الماء . وبعد برهة يعود الماء إلى الغليان فجأة بشكل جياش . تراقب هذه الظاهرة وتلاحظ أن المويجات الناشئة تتموج ببطء وأن المسافات الفاصلة بين القمم طويلة . تعود فترمي مزيداً من الحصيات فتتكرر الظاهرة ، تعود البحيرة في كل مرة إلى الغليان المفاجيء بالمويجات النابعة ثم إلى الهدوء من جديد ، وهكذا . هب الآن أنك ترمي الحصى بوتيرة أسرع من ذي قبل . فلا يحدث شيء فوري لكنك تلاحظ ، حين يظهر الغليان بعد قليل ، أن تغيراً قد طرأ على المويجات . ترى أن التواترات تزداد وأن الأطوال الموجية (المسافات بين القمم) أصبحت أقصر من ذي قبل .

إن هذه البحيرة العجيبة تشبه الجسم الساخن . الحصيات تمثل الحرارة الممنوحة للمادة ، والمويجات هي موجات الضوء الناشئة عن المادة المسخّنة . لكن « البحيرة الكمومية » تتميز عن البحيرات العادية المعروفة بصفتين مدهشتين : أولاهما أن البحيرة الكمومية تستجيب للتسخين استجابة مشتتة ، أي أن الموجات الضوئية تنبثق منها بأسلوب سورات أمواج طاقية لا بأسلوب استمراري ، وفترات الهدوء والتقطع في سلوك البحيرة تكون أطول عندما تكون وتيرة رمي الحصى بطيئة . لكن تزايد هذه الوتيرة يُقصّر الفترة الفاصلة بين الرمي واستجابة البحيرة ، أي أن بحيرتنا الكمومية تقترب عندئذ في صفاتها من البحيرة العادية ، بكل أنواع الأمواج الناشئة عن سقوط الحصى بأسلوب منتظم مماثل .

أما الصفة العجيبة الثانية لبحيرتنا الكمومية فتتصل بكيفية استجابتها عندما تستجيب . يبدو أن بحيرتنا قادرة بنجاعة أكبر على انتاج أمواج أطول ، في حين أن البحيرة العادية لا تتمتع بهذه الصفة ، لأن طول الأمواج فيها وتواتراتها تتعلق بشكل حدود البحيرة وبمقدار الطاقة المبذولة لتوليد الأمواج . أما نزوع البحيرة الكمومية إلى التواترات الأخفض والأطوال الموجية الأطول ، وما يُعدِّل ذلك من تزايد في ارتفاع القمم ، فيتفاقم عندما تتضاءل وتيرة رمي الحصى . ولكن عندما تتزايد هذه الوتيرة تصبح الحال شبيهة بما

يحدث في البحيرة العادية ، إذ تظهر عندئذ أمواج أقصر سرعان ما تعم البحيرة .

لقد شرح بلانك هذه الأوصاف العجيبة التقطعية اللاميكانيكية بكلام عجيب : اخترع دستوراً رياضياً بسيطاً . واليوم قد يكون معظم غير العلميين عاجزين عن أن يقبلوا أن اختراع الدساتير ليس عملاً عادياً لدى العلميين . ذلك أن كل علاقة رياضية يجب أن تستند حصراً على جهد تجريبي شاق . أي أن الفيزيائيين لا يكتفون ، عندما يصادفون تناقضاً في فهم أي شيء فيزيائي ، بمغادرة أضابيرهم وباختراع علاقة رياضية تشرح مشاهداتهم .

إن الطريقة المتبعة في مثل هذه الأحوال تقلّيدية نوعاً ما . لكن ما تجرأ بلانك على اقتراحه كان فكرة غير تقليدية . كانت بمعنى ما ، فكرة مجنونة ، فكرة غير ذات أساس في الدنيا الميكانيكية . كانت فكرة بلانك تربط ما بين الطاقة التي تستمدها الموجة من المادة المهتزة وبين تواتر تلك الموجة .

الطاقة ، الطاقة بتمامها ، أو لا شيء البتة

إن الضوء لا يتصرف كالأمواج الميكانيكية . وقد قال بلانك بأن تفسير هذا التناقض يكمن في فهم جديد للعلاقة بين الطاقة وتواتر الموجة : إن الطاقة ، لدى امتصاصها في المادة أو لدى صدورها عنها بشكل أمواج ضوئية ، تتعلق بتواتر الضوء الصادر . إن الطاقة الحرارية التي تغذي المادة المتوهجة لا تنجح في إثارة أمواج ضوئية عالية التواتر إلا إذا بلغت حرارتها درجة عالية جداً . أي أن الأمواج ذات التواتر العالي تكلّف طاقة عالية جداً . وبذلك وضع بلانك دستوراً عُرف عندئذ باسمه . وهذا الدستور يقول بكل بساطة : إن الطاقة (Energy: E) تساوي جداء تواتر (frequency: f) الضوء الصادر بثابت (يرمز له بـ h) . وكان ظهور هذا الدستور ، $E = hf$ ، تاريخ ميلاد العصر الكمومي .

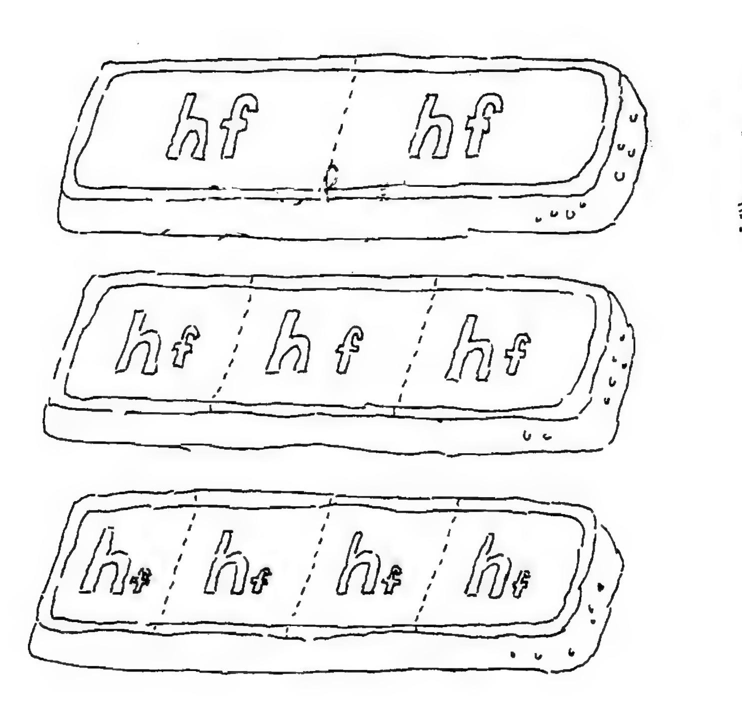
التواتر العالي يعني طاقة عالية . وعلى هذا لا يكون الضوء الصادر مرئياً إلا إذا كانت طاقة التسخين عالية بما يكفي لرؤيته . وثابت التناسب ، h ، الوارد في هذا الدستور يسمى **ثابتة بلانك** ، وقد كانت فكرة جديدة تماماً أن يكون مثل هذا الثابت موجوداً . إذ أن النموذج الميكانيكي لم يتنبأ قط بعلاقة من هذا القبيل بين تواتر الضوء والطاقة اللازمة لانتاجه .

لقد تبين أن ثابتة بلانك عدد صغير لدرجة بالغة . إنها تساوي 6,6 مقسوماً على مليار مليار مليار . إنها صغيرة لدرجة أن لا يتوقع لها أحد أية نتيجة تُلحظ . فلا عجب إذن إذا كانت الطبيعة الكمومية للضوء قد ظلت خافيةعلى عباقرة الأقدمين حتى القرن العشرين .

لقد فسرت معادلة بلانك ، $E = hf$ ، سبب تميز الأمواج الضوئية ذات التواتر العالي عن سواها . كما قدمت أيضاً فكرة جديدة مذهلة : بما أن المقدار الطاقي hf كمية « تامة » بذاتها ــ لا يوجد منها كمية كسرية مثل 0,50 hf أو 0,25 f ولا أي كسر آخر ــ فإن الطاقة التي تملكها أية موجة ضوئية لا يمكن أن تكون إلا أضعافاً صحيحة من « الحبيبة » الطاقية الأساسية .

إن المادة تُصدر ، بطريقة ما ، أمواجاً ضوئية تحمل أعداداً صحيحة من هذه الحبيبات الطاقية. كانت فكرة الكمّ قد صودفت أولاً في هذه الصورة « الحبيبية » . وكلمة كَمّ تعني هنا مقداراً كاملاً بذاته . والطاقة ، في أي تواتر معين ، تشبه قضيب قصب السكر . إنها لا تنقسم إلا لقطع كاملة ، ذات حجم واحد لا نصف له ولا ربع ولا ثلث ... وهذه الصورة تفسر أيضاً وتدعم الميزة القائمة للأمواج الضوئية ذات التواتر العالي . فإذا جُعل التواتر أعلى تصبح قطع قصبة السكر أطول ، وهذا يعني عدداً قليلاً من القطع (الحبيبات) . وبذلك تتميز أمواج التواتر العالي بعدم ظهورها لقلة عدد ما يصدر منها . أما حبات التواتر المنخفض فهي أصغر ، مما يجعل عددها الصادر كبيراً من أجل قيمة معينة للطاقة الكلية . (كلما ازدادت حبيبات الطاقة ازداد عدد الموجات وأصبح الضوء مرئياً أكثر) .ومن هنا نفهم لماذا تكون الموجات ذات التواتر الأخفض أكثر عدداً .

لقد قاد الدستور $E = hf$ بلانك إلى شرح سبب عدم صدور الأمواج الضوئية بشكل استمراري . كما أن بلانك قدّم صورة نظرية ، لأنه لم يستطع أن يرصد بالتجربة ما يحصل عندما تلد القطعة المادية موجة ضوئية . زد على ذلك أن الضوء الذي يتكلم عنه بلانك كان يبدو مستمراً على امتداد طيف ألوانه ، أي أن كل لون متصل باللون الذي يليه كما في قوس قزح . كان بلانك مضطراً لقبول الإصدار المتقطع كي يفسر استمرار عصابة الضوء الملوّنة . لكن هذا لم يكن طبعاً أول مرة اتخذت فيها فكرة جديدة صورة مفارقة فيزيائية جديدة .



« عقد قصب » طاقية :
يمكن للموجة أن تمتلك قطعاً طاقية كاملة ، لا أجزاء قطعة . القصبة العلوية لها قطع طاقية أكبر لكن العدد أقل . القصبة السفلية لها قطع طاقية أصغر لكن العدد أكبر .

ثم كان أن نجحت علاقة بلانك السحرية ، رغم أنها لم تكن متوقعة ولا يبررها أي منطق ميكانيكي ، في شرح ما لم يكن متوقعاً في سلوك الضوء . وقد فعلت أكثر من ذلك . فللمرة الأولى في تاريخ العلم لم يستطع أحد أن يرسم صورة لما سيجري فيما بعد . لقد حلت الصيغة الرياضية محل التجربة المرئية . كانت صيغة ناجحة في عملها ، لكن معناها كان خفياً .

بلانك المتحفظ

استشاط بلانك غضباً من دستوره البسيط . لقد وضع في العلم ، وفي الفيزياء خصوصاً ، سابقة جديدة . إذ لم يجد لهذا الدستور برهاناً مستقلاً ، بل كان بناءً رياضياً صرفاً . والشيء المحرج فيه أنه لا يمكن تبريره . ولم تكن توجد طريقة لرؤيته رأي العين ، أو حتى لربطه بأي دستور آخر من شكله . فمحاولاتنا مع البحيرة الكمومية وقصبة السكر الكمومية ليست سوى تشبيهات ، لا مواصفات لما يحدث فعلاً داخل المادة المسخنة .

لذلك كان بلانك متحفظاً جداً بخصوص تقبل فكرة السلوك المتقطع للمادة عندما يتعلق الأمر بإصدار الضوء أو بامتصاص الطاقة الحرارية . لكن الوقت كان قد فات ، رغم تنديده باكتشافه الشخصي . ذلك أن فيزيائياً آخر ، أصغر منه سناً بقليل لكن ربما أكثر منه جرأة ، أولى الفكرة الجديدة كل الاهتمام . كان اسمه ألبرت أينشتاين ، وكان يسعى إلى استنباط نظرة جديدة للطاقة E الواردة في دستور بلانك . كانت E تمثل طاقة جسيم لم يكن قد اكتشف بعد ، جسيم الضوء .

أينشتاين يرسم صورة : مولد الفوتون

لقد أبطل أينشتاين الصورة الميكانيكية النيوتنية وأحل محلها الصورة الميكانيكية الأينشتاينية . فقد قدم صورة ميكانيكية جديدة ذات أساس أمتن بخصوص حركة المادة والضوء . لكن أفكاره النسبوية ، رغم جدتها وجرأتها ، ظلّت ميكانيكية . السبب يولّد المفعول . ولو أن الميقاتيات وأدوات قياس المسافات لم تعد كما كنا نظنها من قبل .

ومع ذلك نثر أينشتاين ، في العام نفسه ، بذور شجره جديدة غير ميكانيكية . كانت تقطعات بلانك تحتل مكان الصدارة عنده . وقد ادّعى أن سبب التقطع في إصدار الحرارة والضوء وامتصاصهما لا يكمن في القطع المادية المهتزة التي تُصدر الضوء والحرارة ، بل في طبيعة الطاقة الضوئية والحرارية نفسها . وشعر بطريقة ما ، ورغم ما أحرزته النظرية الموجية في الضوء من نجاح ، أن الضوء ليس مصنوعاً في الأساس من أمواج ، وهو لا يظهر كأمواج إلا إذا رُصد في أثناء فترات زمنية طويلة . لكن إذا أمكن تجميد اللحظة وإيقاف الموجات الضوئية عن متابعة سيرها لمدة كافية ، لرؤي أن هذه الموجات مصنوعة من حبيبات ضوئية صغيرة .

إن هذه الحبيبات هي التي تتفاعل عملياً مع مكونات المادة المهتزة في الأجسام المتوهجة بالتسخين . وهذا هو سبب الانقطاعات والتقطعات . إن المهتزات لا تصنع أمواجاً ، لكنها تُصدر حبيبات ضوئية . فإذا شبهت المكونات الصغيرة بأشخاص يُنشدون أغنية ، تكون الألحان مندفعة من أفواه المغنين كبذور البطيخ لا كأمواج الصوت الاستمرارية الملساء .

لم يكن آينشتاين يعلم آنئذ بشكل واضح أنه كان يضع بذور تدمير الصورة الميكانيكية . كان يظن أنه ما يزال يعمل في إطار تلك الصورة . كانت الموجات لديه مصنوعة من خامة ما ، ولكل قطعة صغيرة من هذه الخامة طاقة E . وهذه القطع تفعل ما تفعله أية قطعة مادية ، فتتحرك متمتعة باندفاع وطاقة . حتى أنه أسمى هذه القطع **كموماً** quanta ، للدلالة على إمكانية تعدادها وعلى ظهورها بمظهر أشياء مستقلة ، كميات من تلك الخامة .

لكن طاقة كل قطعة ما تزال ، بموجب الدستور $E = hf$ ، تتعلق بتواتر الموجة الضوئية . ولم يكن بالإمكان تفسير ذلك بأية صورة ميكانيكية . وإنني على يقين من أن هذه الصورة الأينشتاينية كانت ستؤول إلى السقوط لو أنها فشلت في تفسير لغز آخر .

كان هذا اللغز خروج إلكترونات فورياً من السطوح المعدنية الباردة بمجرد أن ترسَل حزمة ضوئية مناسبة على تلك السطوح . أي أن المعادن لا تتوهج بالتسخين فحسب ، بل هي قادرة أيضاً على « الغليان » مصدرة حبيبات مادية صغيرة . وقد تبين أن هذه الحبيبات إلكترونات ، وهي جسيمات مادية يمتلك كل منها شحنة كهربائية صغيرة سالبة .

إن انطلاق رذاذ من شريحة لحم قيد التسخين ليس أمراً غريباً . لكن المدهش هو أن الطاقة الحرارية ليست ضرورية في الظاهرة التي نحن بصددها . ذلك أن الإلكترون يندفع خارج المعدن وكأنَّ مدفعاً قذف به . والكم الطاقي الضوئي يُستهلك في هذه العملية . فهو يعطي كل طاقته للإلكترون فور أن يصادفه . ولدى تدقيق التجربة تبين الفيزيائيون أن استخدام أينشتاين للدستور $E = hf$ كان سديداً . فعندما غيروا تواتر الضوء المستخدم لإنارة سطح المعدن لاحظوا أن طاقة الإلكترونات الخارجة منه تتغير بالاتجاه نفسه ، فتزداد بازدياد التواتر ، لدى استخدام ضوء بنفسجي مثلاً بدلاً من الأحمر الذي هو ذو تواتر أقل .



لقد « رأى » أينشتاين حبيبات ضوئية سميت فوتونات ، وكانت أولى الكموم

لقد أُطلق فيما بعد على كموم آينشتاين اسم **الفوتونات** . أما خروج الإلكترونات بفعل الفوتونات فقد سمي **المفعول الفوتوكهربائي** photoelectric effect ؛ وبفضـل التفسـير النظري الصحيح له نال أينشتاين جائزة نوبل عام ١٩٢١ .







	عدد الفوتونات
a	3,000
b	12,000
c	93,000
d	760,000
e	3,600,000
f	28,000,000

وعلى شاكلة ما فعله بلانك كان إسهام أينشتاين نظرياً . فكلا الرجلين فسر ما لم يكن مفسراً قبله ، وكلاهما اشتُهر باكتشافاته الرياضية . وكان ذلك بحد ذاته سُنَّة جديدة في الفيزياء . فقد أصبحت الأفكار الجديدة غذاء العلم في تطور المجتمع . فهل يمكن استخدام فكرة بلانك ــ أينشتاين في كل مجال ؟



سلسلة صور فوتغرافية تبين مدى جودة الصور المحصول عليها بعدد فوتونات متزايد .

الفصل الرابع

القفزات الكمومية

« قالت الفقمة :

حان وقت الكلام عن أشياء عديدة :
عن الأحذية ــ والسفن ــ وشمع الأختام
عن القنبيط ــ والملوك ــ
ولماذا يثور البحر
وعما إذا كان للخنازير أجنحة »

Lewis Carrol

لورد يطبخ فالوذج زبيب ذرياً

كان بلانك وأينشتاين قد وضعا حجر الأساس . وفي عام ١٩١١ كانت فكرة طبيعة الضوء الكمومية قد اكتسبت احتراماً متزايداً . فأصبح الضوء موجة ذات خصائص حبيبية تصاحبه ، بشكل ما ، أينما ذهب . ولدى استخدام تقنيات متطورة لتخلية الأوعية من الهواء وأحدث الأجهزة الكهربائية راح العلماء يجربون الانفراغ الكهربائي في الغازات التي لم يُبقوا منها في الوعاء سوى كمية ضئيلة يُجرون الدراسة عليها . وقد نظروا أيضاً في الضوء الناجم عن الانفراغ الكهربائي . ونحن نطلق اليوم على هذه الأوعية اسم « أنابيب النيون » .

كان تمسون J.J. Thomson قد اكتشف الإلكترون عام ١٨٩٦ بفضل تقنية الانفراغ الكهربائي في الغاز المخلخل (قليل الكمية جداً) . وقد لقي هذا الاكتشاف ترحيباً حاراً . فقد تجلى سر الكهرباء في هذه الجسيمات المادية الصغيرة جداً . وباستخدام حقل كهربائي وآخر مغنطيسي استطاع تمسون أن يصنع حزمة مركزة ضيقة من الإلكترونات استغلها لتعيين شحنة الإلكترون ثم كتلته . وقد تبين أن هذا الجسيم خفيف جداً إذا قورن بذرات الغاز . فذرة الهدروجين وهي أخف ذرة معروفة ، تزن قرابة ألفي ضعف من وزن الإلكترون . وهكذا بدا طبيعياً أن تُفترض الإلكترونات أجزاءًمن الذرات . وقد تم التسليم فعلاً بأن الطاقة الكهربائية المستعملة في الانفراغ الكهربائي قد مزقت ذرات غازية وقذفت إلكتروناتها نحو خارج الذرات .

ولما كان المفروض في المادة أن تكون مصنوعة من ذرات يكون من الطبيعي أيضاً أن نتصور أن المادة المسخنة تتوهج بفضل حركات الإلكترونات بسبب خفتها . كان من المعقول التفكير بأن الإلكترونات تهتز جيئة وذهاباً ضمن ذراتها . وكان المفروض أن تنتشر هذه الاهتزازات أمواجاً ، على شاكلة ما ثبت من تجارب هرتز بأن الاهتزازات الكهربائية تولِّد أمواجاً راديوية . والسؤال الوحيد الذي ينطرح عندئذ يخص كيفية تصوُّر ذلك . إذ يجب أن نتذكر أن النظرة التقليدية النيوتنية إلى العمليات الفيزيائية كانت ما تزال قائمة بالرغم من دستور بلانك ــ أينشتاين $E=hf$.

كان حجم الذرة معروفاً . كان قطرها قلما يزيد عن جزء من مليار من السنتيمتر . كان صغيراً لدرجة يصعب تصورها . ولكي تأخذ فكرة عن صغر الذرة تصور ما يلي : افترض أنك تمسك بيدك كرة مضرب ، وأنك تستطيع أن تنفخ فيها ــ أن تنفخ فيها وهي تتضخم إلى أن تبلغ حجماً تستطيع أن ترى معه إحدى ذراتها . وبصريح العبارة افترض أنك تريد أن تنفخ فيها إلى أن ترى إحدى ذراتها بحجم كرة مضرب عادية . ولأجل ذلك يجب أن تنفخ فيها حتى تبلغ حجم الكرة الأرضية فترى الذرة منها بحجم كرة مضرب عادية ! فلا عجب إذن إن لم يعلم أحد ماذا تشبه الذرة ، أو كيف تتوضع الإلكترونات فيها .

في عام ١٩١١ أصبح تمسون سير sir تمسون وصار له مختبر خاص في انكلترا . كان مدير مختبر

كافنديش المشهور . وكان أيضاً زعيم مدرسة فكرية في بنية الذرة وتوزع الإلكترونات ضمنها . كانت صورة الذرة لدى تمسون تشبه فالوذج الزبيب . وفي أحشاء هذا الفالوذج تتوزع إلكترونات أصغر ، كحبات الزبيب . كان عدد الإلكترونات ، في رأيه ، منوطاً بنوع الذرة . كان للهدروجين زبيبة إلكترون واحدة تحمل شحنة صغيرة كهربائية سالبة تعدِّل الشحنة الموجبة الملحوظة فتجعل الذرة حيادية كهربائياً . ولدى وضع الذرة في تيار انفراغ كهربائي يمكن للإلكترون أن يُطرد من الفالوذج ويخلِّف وراءه فالوذج ذرة ذا شحنة موجبة ، فتكون النتيجة إيون ion هدروجين . وقد لوحظ أن إيونات الهليوم ثنائية الشحنة ، وعلى هذا يجب أن تحوي ذرة الهليوم إلكترونين كي تكون حيادية . وهكذا دواليك .

كان يوجد عصرئذ مدرسة فكرية أخرى ترى أن الذرة تشبه منظومة شمسية مصغرة ، لا فالوذج زبيب . أي أن كل إلكترون في أية ذرة يشبه كوكباً دائراً في فلك مغلق حول نواة تحتل مركز الذرة . فبدلاً من توزع حبات الزبيب الإلكترونية ضمن فالوذج رخو موجب الشحنة ، كانت هذه المدرسة ترى في الذرة سلسلة منظَّمة من الإلكترونات الكوكبية لكل منها فلك ميكانيكي خاص يتكرر دوران الإلكترون فيه . هذه الإلكترونات تتحرك ككواكب حقيقية . كان لكل منها « سنته » الخاصة . وبتعبير آخر ، يوجد دورية تواترية في حركاتها . كانت السمة الحاسمة بين هذين النموذجين تتصل ببقية الذرة ، المادة الموجبة الممسكة بالإلكترونات .

لم يكن بالإمكان أن تقال كلمة الفصل بين النموذج الفالوذجي والنموذج الكوكبي ، من خلال أوصاف الضوء الصادر عن الذرات . كما لا يستطيع أحد أن ينير الذرة ليرى ما فيها . إن الذرات أصغر من أن تُرى . وأطوال الموجات الضوئية تساوي آلاف المرات من أقطار الذرات . إن أمثال هذه التفاصيل ، كمواضع الإلكترونات وتوزع المادة الموجبة في أثقل الذرات ، لا يمكن أبداً رؤيتها باستخدام موجات ضوئية . إنما كان يوجد طرائق أخرى لفحص الذرات . تستطيع مثلاً أن ترجمها بجسيمات ذرية أخرى وأن ترصد تبعثر هذه الجسيمات والفتات الذري الذي لا بد أن ينجم عن التصادم . وكما ينبئ فحص شظايا حوادث سقوط الطائرات عن سبب الحادث تنبئ الشظايا الذرية عن سمات مكنونات الذرة .

لقد جاءت كلمة الفصل بين النموذج الفالوذجي والنموذج الكوكبي في بنية الذرة عام ١٩١١ ، وذلك من خلال تجربة تم فيها إرسال حزمة من إيونات الهليوم في وعاء خال من الغاز على ورقة من الذهب رقيقة جداً ، فظهرت الحقيقة . تبعثرت إيونات الهليوم ضمن الورقة الذهبية بشكل يدل على أن ذرات الذهب لها مركز ، مما دعا إلى إسقاط النموذج الفالوذجي .

أصبح نموذج الذرة كوكبياً . وكانت المفاجأة أن حجم النواة تبين بالغ الصغر جداً . فعليك مثلاً أن تنفخ في كرة الذرة حتى يبلغ قطرها طول ملعب كرة القدم لكي ترى النواة بحجم حبة الرز . وتدور الإلكترونات حول النواة في ذلك الفضاء الرحب من عالم الذرة الصغير .

كانت هذه التجارب قد أُجريت بيدي لورد إرنست رذرفورد Rutherford ومساعده إرنست مارسدن Marsden . كان رذرفورد قد مُنح أيضاً مختبراً خاصاً في مؤسسة مِدلاند الصناعية في منشستر .

وبنجاح هذا الذي يسمى اليوم نموذج رذرفورد الذري قاد رذرفورد فريقه العلمي لمحاولة معرفة كيف تستطيع الإلكترونات الكوكبية أن تظل دائرة في أفلاكها رغم أن كلاً منها يجب أن يشع طاقة على شكل أمواج ضوئية . إنني لعلى يقين من أن نجاح رذرفورد لم يكن مستساغاً جداً عند منافسه لورد ثمسون . وفي جو هذه الخصومة كان شاب مغمور اسمه نيلز بور يشق طريقه في هذا المجال .

ذرة بور الكمومية

كان بور قد نجح لتوه في تقديم أطروحة الدكتوراه في كوبنهاغن ، الدانمارك ، حين نوى أن يعمل عند ثمسون ، الذي لم يكن على الأرجح متحمساً لاستخدام بور ، هذا الشاب الذي لم يتجاوز ستاً وعشرين سنة من عمره . كان بور ، إضافة إلى ذكائه الحاد ، صريحاً وجريئاً . كان نموذج ثمسون بخصوص الإلكترون موضوع أطروحة بور ؛ وما لبث أن اكتشف خطأً رياضياً في حسابات ثمسون السالفة .

في خريف ١٩١١ وجد بور نفسه بدافع من ثمسون مضطراً للذهاب إلى منشستر للعمل ضمن فريق رذرفورد . فانضم سريعاً إلى ذلك الفريق الجديد من الفيزيائيين المتحمسين وبدأ أبحاثه الشخصية في الإلكترونات ضمن الذرة .

إن ذرة الهدروجين هي أخف الذرات وأبسطها في هذا العالم . وهي تتألف ، حسب رأي رذرفورد ، من نواة وإلكترون واحد يدور حولها . كان المأمول ، إذا أمكن صنع نموذج ناجح لهذه الذرة ، أن تقع كل الذرات الأخرى في سياق هذا النموذج وتصبح قابلة للفهم . ولذلك راح بور يحاول صنع نموذج لذرة الهدروجين . لكن طريق الصورة الكوكبية للذرة كانت تعترضه عقبة كأداء . كان السؤال هو : كيف يمكن للإلكترون أن يظل ملازماً لمداره ؟ إذ لو كانت الذرة كبيرة كما تبدو لوجب على إلكترونها أن يدور ضمنها بتغيرات تسارعية في قيمة سرعته وفي اتجاهها ، وبذلك يمسح الفضاء كما تمسح قمة شفرة المروحة دائرة في أثناء حركتها . وعلى الإلكترون أن يفعل ذلك دون أن يُصدر أية طاقة . إن من الواجب عليه ، بالتأكيد ، أن لا تصدر عنه طاقته باستمرار ، وإلا كان ذلك كارثة تدمر النموذج الكوكبي . وسبب ذلك أن هذا النموذج يتنبأ للكوكب الذي يفقد طاقته بالتدريج أن يسلك خطاً حلزونياً مقترباً من الشمس إلى أن يسقط عليها ، مما يعني أن من شأن الالكترون أن يسقط على النواة كلما استمر في فقدان طاقة ضوئية . وبذلك تنهار الذرة فجأة وتعاني المادة كلها ارتصاصاً سريعاً . ومن المذهل أن نتصور كم تصبح الذرات صغيرة إذا ابتلعت كل نواة إلكتروناتها . كان ملعب كرة القدم سيتقلص إلى حبة رز ، وكانت الكرة الأرضية ستنكمش إلى ملعب كرة قدم ! وكانت المادة ستغدو ذات كثافة هائلة (إن النجوم النترونية تبدو على هذه الدرجة من الكثافة ، لأن قوة الثقالة ترصّ النترونات معاً) . وهكذا كانت المادة ستموت كلها وكان الضوء سيذهب أدراج الرياح .

ولكن إذا كان محظوراً على الإلكترون أن يفقد طاقته بالتدريج وهو على مداره فكيف يتسنى له أن يُصدر ضوءاً ؟ ذلك أن الضوء يجرف طاقة ، ولا بد أن يكون لدى الإلكترون وسيلة لإصدار طاقة أحياناً ،

وإلا لما رأينا ضوءاً البتة . فالمسألة تعود إذن إلى صنع نموذج كوكبي يتيح للإلكترون أن يُشع طاقة من وقت لآخر ، أي بشكل تقطعي . ولذلك حاول بور أن يجد الظروف التي « تبيح » للإلكترون إصدار طاقة والظروف التي « تحظر » عليه ذلك . لكن اتخاذ هذا القرار لم يكن شيئاً سهلاً ؛ إذ كان على بور أن يبيِّن سبباً للتقطع . فكيف تسنى له ذلك ؟

لقد شرح ذلك بكل بساطة . فقد وضع فرضية تقول بأن الذرة لا يباح لها إصدار ضوء إلا إذا قفز أحد إلكتروناتها من مدار لآخر ، ولحظةَ حدوث هذه القفزة فقط ، وإلا ظل محظوراً عليه إصدار أي ضوء . وبذلك خطا بور ، كما خطا بلانك وأينشتاين قبله ، خطوة جريئة . والواقع أنه تشجع على أن يحذو حذوهما . فقد شعر نوعاً ما بأن الثابتة h لا بد أن تتدخل في الامر . وكان يعلم ان h قد استُخدمت لدى بلانك وأينشتاين لتفسير تقطع الطاقة الضوئية في امتصاصها وفي صدورها عن المادة . فلماذا لا يمكن استخدامها أيضاً في أحشاء الذرة ؟ ولكنْ كيف ؟ هذا ما وجده بور .

إن هذا السر الجديد لم يعد خافياً على كل من مارس الفيزياء . إن له علاقة بشيء يسميه الفيزيائيون **وحدات** . والوحدة شيء تقاس به الكمية الفيزيائية . وكل وحدة يمكن أيضاً أن تكون مؤلفة من وحدات أصغر منها . فالليرة السورية وحدة نقدية ، وهي مؤلفة من وحدات أخرى ، عشرين فرنكاً مثلاً ، والفرنك نفسه مؤلف من خمسة قروش .

وثابتة بلانك هي وحدة أيضاً . ويمكن أيضاً تجزئتها إلى وحدات أخرى . إنها وحدة طاقية زمنية ، وحدة شيء يسميه الفيزيائيون **فعلاً** action ، وهي أيضاً وحدة عزم ـــ مسافة . لكن بور لاحظ أن h يمكن أن تُتخذ وحدة عزم زاوي ، وأن عملية الرصد لها صلة مباشرة بنموذجه الذري .

إن للأولاد خبرة بالعزم الزاوي . فهو ينتج كلما تحرك جسم محتفظاً ببعد معين عن نقطة ثابتة . وإذا كان الجسم المتحرك موصولاً بالنقطة التي يدور حولها فإن حركته تصبح دائرية . إن العزم الزاوي هو حاصل ضرب اندفاع (جداء كتلة الجسم بسرعته) الجسم ببعده عن النقطة الثابتة . ولما كان إلكترون بور يتحرك على مدار حول النواة فهو أيضاً مربوط برباط خفي سببه التجاذب الكهربائي بينه وبين النواة . وعلى هذا يكون للإلكترون عزم زاوي . فهل يمكن استخدام ثابتة بلانك h كوحدة لقياس العزم الزاوي للإلكترون ؟

ولفهم مغزى هذا السؤال تصور أن لديك كرة صغيرة مربوطة بخيط . أمسك بالطرف الآخر للخيط بيدك ثم دوِّر الكرة عالياً حول رأسك ، كما يفعل راعي البقر بالحبل حين يريد اصطياد عجل . عندئذ تشعر أن القوة التي تشد يدك تشتد كلما ازدادت سرعة الكرة . فأنت كلما سرَّعت تدوير الكرة ، تزيد في عزمها الزاوي .

تصور الآن منزلقاً على الجليد يدور حول نفسه تلاحظ أن سرعة دورانه تزداد عندما يطوي ذراعيه على جسمه . فذراعاه يعملان على شاكلة الكرة المربوطة بالخيط ، لكن المنزلق ، بخلاف هذه الكرة ورغم تزايد سرعة دورانه حين يطوي ذراعيه ، يحتفظ بقيمة ثابتة لعزمه الزاوي ، هذا لأن بعد ذراعيه عن محور الدوران (جسم المنزلق) قد تناقص ليعدِّل تزايد سرعة الدوران .

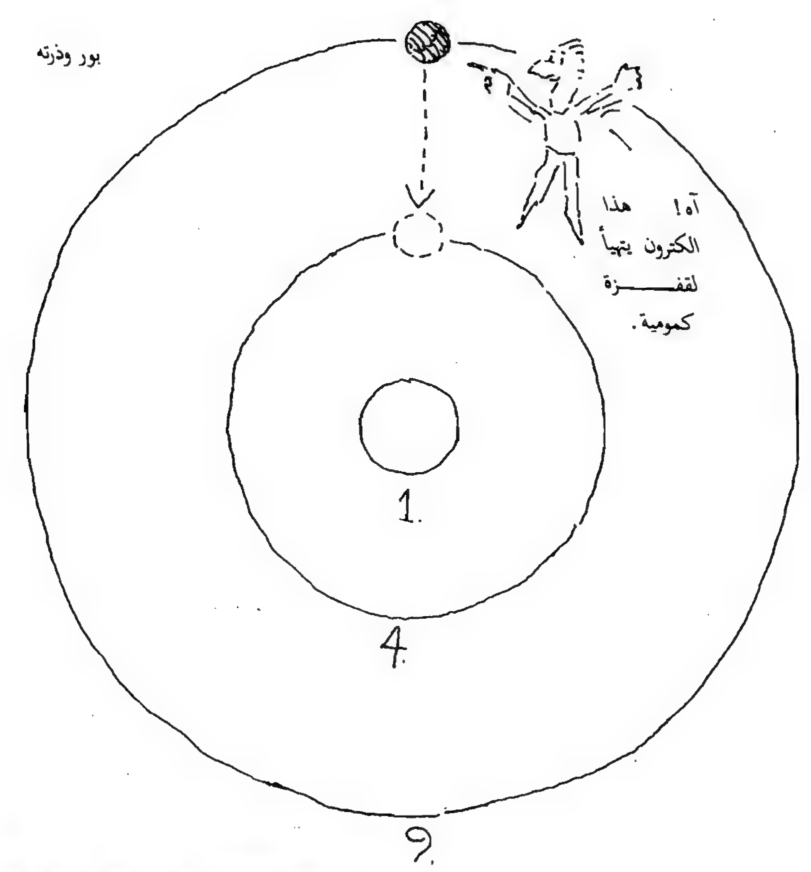
فإذا تصورت الإلكترون الصغير الدائر حول النواة تدرك أن سرعة دوران الإلكترون تكون معينة تماماً إذا كانت القوة التي تمسك به على مداره ثابتة وكان مقدار العزم الزاوي **ثابتاً** أيضاً ويكون نصف قطر المدار معيناً أيضاً . فكل شيء يتوقف إذن على التوازن الحرج الذي يحققه العزم الزاوي المتاح للإلكترون امتلاكه . لقد جرب بور حساباته مفترضاً أن للإلكترون عزماً زاوياًيساوي الوحدة ، فحسب نصف قطر المدار على فرض أن العزم الزاوي للإلكترون يساوي وحدة h واحدة ، فوجد القيمة الصحيحة ، وأن المدار يقع بعيداً عن النواة . ثم جرب عزماً زاوياً يساوي 2h ، فوجد مداراً آخر أبعد بأربع مرات . ثم جرب 3h فوجد مداراً أبعد بتسع مرات من الأول . وبذلك اكتشف بور نموذجاً جديداً للذرة .

لم يكن في هذا النموذج سوى عدد من المدارات المباحة . أي أن إلزام الإلكترون بهذه المسارات الخاصة ، أو « الكمومية » كما أسماها بور فيما بعد ، يسَّر لبور تنبؤاً صادقاً بحجم الذرة . فقطر المدار يزداد حقاً بازدياد العزم الزاوي للإلكترون . لكن سلَّم المسافات كان صحيحاً .

لم يكن هذا الاكتشـاف وحيداً . بل إن بور اكتشف أيضـاً سبب عدم صـدور إشعاع عن الإلكترون الملتزم بمداره . أي أنه وجد سبباً لاستقرار توازن الذرة . فمن خلال اكتشافه أن الإلكترون لا يمكن أن يمتلك من الوحدة h سوى أعداد صحيحة ، غير كسرية ، وأن سواها من قيم العزم الزاوي محظور عليه ، استنبط بور القاعدة التي تُبقي الإلكترون مستقراً في كل مدار مباح : إن الإلكترونات التي تملك أمثالاً صحيحة من وحدة العزم الزاوي h (أي 1h أو 2h أو 3h..) هي وحدها التي يتاح لها أن تدور بسـلام ضمن الذرة.وقد عُرفت هذه المدارات الكمومية باسم **مدارات بور** ، كما عُرفت الأعداد الصحيحة ، 1 و2 و3 و.. ، باسم **الأعداد الكمومية** للمدارات . وهكذا رُسم للذرة نموذج كمومي .

بقي أن نعرف فقط « القاعدة » التي تبيح للإلكترون أن يُشع طاقة ضوئية . وهنا أيضاً لا يوجد سبب فيزيائي لقواعد الاستكمام quantization هذه التي تُلزم الإلكترون بالبقاء في مداره . ومن أجل ذلك افترض بور أيضاً أن الإلكترون يصدر ضوءاً عندما ينتقل من مدار لآخر . وحسَب طاقة الإلكترون في كل مدار من المدارات المباحة له . وعندما حسب الفروق الطاقية بين المدارات واستخدم دستور بلانك $E = hf$ نجح بور في التنبؤ بتواترات الأمواج الضوئية المرصودة عندما يقفز الإلكترون إلى مدار آخر .

وفي كانون الثاني / يناير ١٩١٣ أطلعه أحد زملائه السابقين على نشرة كتبها أستاذ سويسري ، اسمه يوهان بالمر J.Balmer ، كان قد رصد عام ١٨٨٠ الضوء الصادر عن الهدروجين الغازي ، ووجد أن الألوان الصادرة ليست متوالية بشكل مستمر في الطيف ، بل إن تحليل هذا الطيف بموشور زجاجي ينبئ عن ألوان مفقودة . أي أن الطيف بعد تحليله يتألف من عصابة عريضة أفقية تحوي عدة خطوط ملونة شاقولية ، كأسنان المشط ، وبين هذه الخطوط ظلام دامس ، أي أن المشط تنقصه بعض الأسنان . وطيف الضوء في العادة ــ كضوء الشمس أو ضوء الأجسام المتوهجة ــ لا تنقصه ألوان ، بل هو مستمر تماماً ، كقوس قزح ، بين الأحمر والبنفسجي . لكن الطيف الناقص الذي لحظه بالمر كان صادراً عن ذرات غاز الهدروجين . ولما قرأ بور نشرة بالمر تحمس أشد الحماس . فهو لم يستطع أن يحسب فقط طاقة الإلكترون



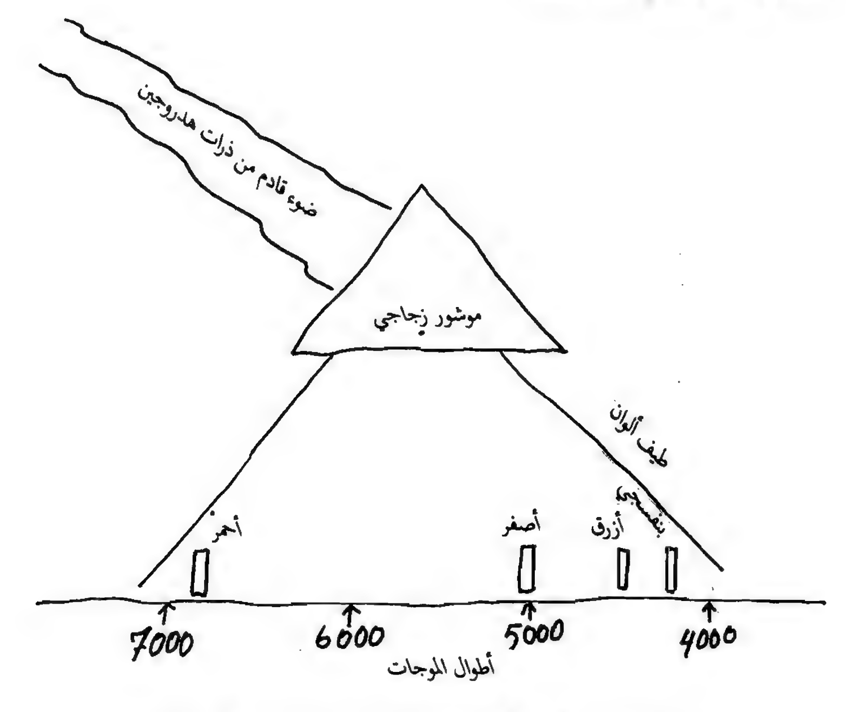


كل دائرة تمثل مداراً لإلكترون كوكبي. إن أقطار المدارات تتوالى كالأعداد *9:4:1*. يملك الالكترون في المدار الأول وحدة *h* واحدة، وفي المدار الثاني (القطر *4*) وحدتين وفي المدار الثالث (القطر *9*) ثلاث وحدات من *h*.

في كل مدار ، بل استطاع أيضاً أن يحسب الطاقة التي يُشعها الإلكترون لحظة تغيير مداره .

كان طيف بالمر الهدروجيني يفتقد « أسناناً » لأن القفزة المدارية التي كان يمكن أن تُشع هذه « الأسنان » محظورة . وبما أن الإلكترون ليس له سوى عدد معين من المدارات المباحة ، فلا يوجد سوى عدد معين من التواترات الضوئية المباح صدورها . وقيمة تواتر الضوء الصادر تتعلق بالفرق الطاقي الذي يتخلى عنه الإلكترون عندما يقفز من مدار مباح لمدار مباح آخر . وهكذا استطاع بور تفسير الطيف الهدروجيني الذي لاحظه بالمر .

كل ذلك جميل وعظيم ، لكن نبوءات بور الناجحة تعتمد على صورة مقلقة جداً . فالإلكترون الذي يصنع الضوء بقفزته هو إلكترون لا حاجة به لأن يهتز أو يدور حول النواة كي يصنع ضوءاً . لكنه لا يفعل شيئاً مما يمكن لأي امرىء أن يتخيله . وما عليه ، كي يصنع ضوءاً ، سوى أن يقفز ، وهو ينطلق كالرجل الفائق (السوبرمان) من مدار لآخر ضمن الذرة ، ومحظور عليه أن يوجد بين المدارات المباحة . وقد حاول بور أن يحسب ذلك ففشل . وأحسن صورة طلع بها على الملأ لا تعدو قفزة كمومية بين مدار مباح وآخر دون مرور بينهما . ومهما كانت هذه الصورة غير معقولة فقد حلت تماماً محل الصورة الميكانيكية التقليدية في هذه العملية .

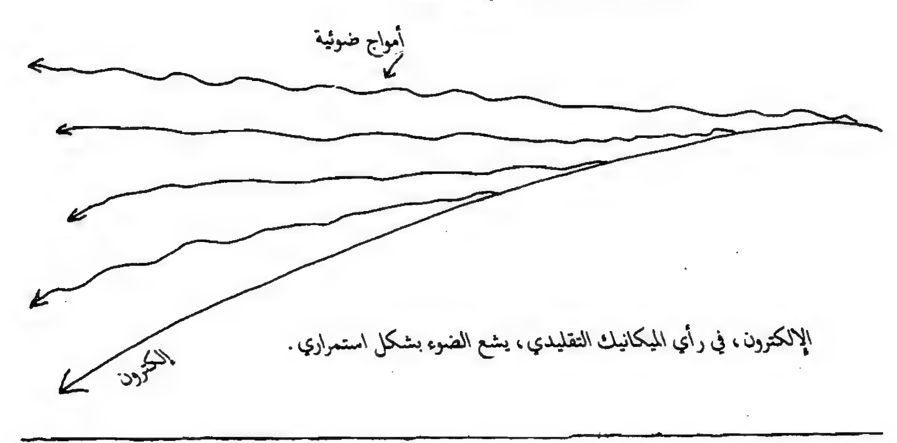


ما شاهده بالمر : الضوء القادم من ذرات الهدروجين ينقسم إلى طيف ألوان .

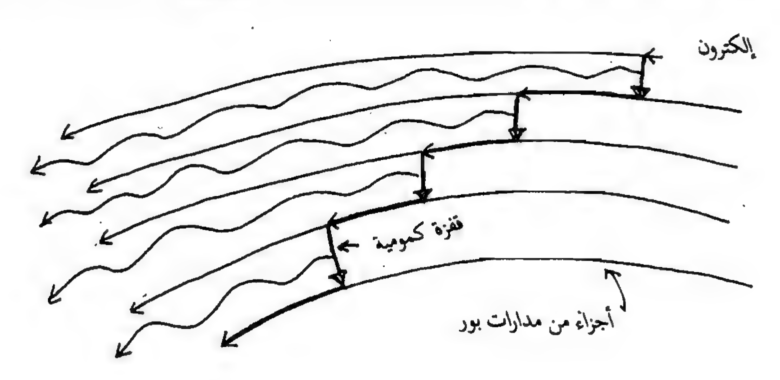
ومع ذلك لم يُهجر ميكانيك نيوتن تماماً ، بل ظلت قائمة بعض سمات الصورة التقليدية وأولها أن فكرة المدار والذرة الكوكبية مستمدة من الصور التقليدية المعتمدة على حركة استمرارية للإلكترون على مداره . أما ما كان غير تقليدي فهو رفض الإلكترون أن يُشع حينما يكون في مدار بوري . وهذا غير معقول بتاتاً لسبب مهم جداً وهو أن التجربة تدل على أن الإلكترونات المتسارعة في حركاتها تُشع طاقة ، سواء في مدار بوري أو بتطبيق قانون نيوتن الثاني .

فبموجب قانون نيوتن يوجد قوة متسلطة على الإلكترون . وهذه القوة تجعل حركة الإلكترون دائرية ، أي أنها تغير اندفاعه (جهوياً على الأقل) ، وهذا معناه نشوء تسارع في حركة الإلكترون . ويستتبع ذلك أيضاً أن الإلكترون ، بسبب شحنته الكهربائية ، عليه أن يُصدر طاقة في أثناء تسارعه . لكن نموذج بور لا يأبه بهذا الواقع التجريبي .

إن ما يبدو استمرارياً متقطع في حقيقته .



الإلكترون ، في رأي الميكانيك التقليدي ، يشع الضوء بشكل استمراري .



الإلكترونات ، في رأي بور ، تتبع مساراً تقطعياً ذا قفزات كمومية.

لكن بور لم يشأ أن يتراجع وقد ذكر أن قاعدته ، في الإشعاع المباح والمحظور ، تتوقف على حجم قفزة الإلكترون الكمومية . والقفزة من المدار الثاني إلى المدار الأول صغيرة جداً جداً ، لكنها تغير محسوس في سلَّم قطر المدار الأول . فهي إذن قفزة هائلة نسبياً . أما القفزة من المدار الذي رقمه 10000 إلى المدار الذي رقمه 9999 فهي كبيرة إذا قورنت بقطر المدار الأول ، لكن تغير قطر المدار بينهما صغير جداً إذا قورن بقطر المدار الذي رقمه 10000 ، والقفزة هنا صغيرة نسبياً . وعندما حسب بور الإشعاع الناجم عن قفزات بين مدارات ذات أقطار كبيرة وجد نتيجة تتفق مع النتائج التي يتنبأ بها الميكانيك التقليدي . أي ، بتعبير آخر ، كلما كان التغير النسبي صغيراً بدت النتيجة أكثر استمرارية وقرباً إلى النتائج التي يعطيها الميكانيك التقليدي .

وقد استنبط بور سمة مثيرة أخرى من سمات ميكانيك الكم . وهي لا تنطبق إلا حيث تظهر الحاجة إليها . إن « القواعد » الكمومية تتطابق مع القواعد التقليدية في كل مناسبة يظهر فيها العالم استمرارياً . وهذا ما يدعى باسم مبدأ التطابق **principle of correspondence** . وكان ذلك مشجعاً لبور . وقد اعتقد أنه اقترب من أحد أسرار الله جل جلاله ، وأنه عرف لماذا يبدو العالم استمرارياً حتى ولو كان في الأساس تقطعياً ذا قفزات كمومية . فكل شيء نسبي ، لكن التقطع حقيقة أساسية .

لكن الاستمراريين لم يكونوا مقتنعين ، بل لم يكن لديهم استعداد لرمي الأفكار التقليدية كلها في سلة المهملات . هذا ورغم أن بور ، في غمرة حماسه لمبدأ التطابق ، كان مستعداً للتخلي عن الصورة التقليدية برمتها ، فإن الاستمراريين شعروا بما شجعهم على البحث عن سبب تقليدي لهذه القفزات . لكنهم لم يكونوا يعلمون أن محاولاتهم في سبيل التخلص من القفزات الكمومية ستقودهم إلى التخلي عن الصورة الجسيمية للمادة .

الفصل الخامس

عندما يكون الجسيم موجة

أنا ما رأيت مستنقعاً قط
ما رأيت البحر قط
ومع ذلك أعرف كيف يبدو القرنفل
وكيف يجب أن تكون الموجة .

Emily Dickinson

أمير يخترع موجة

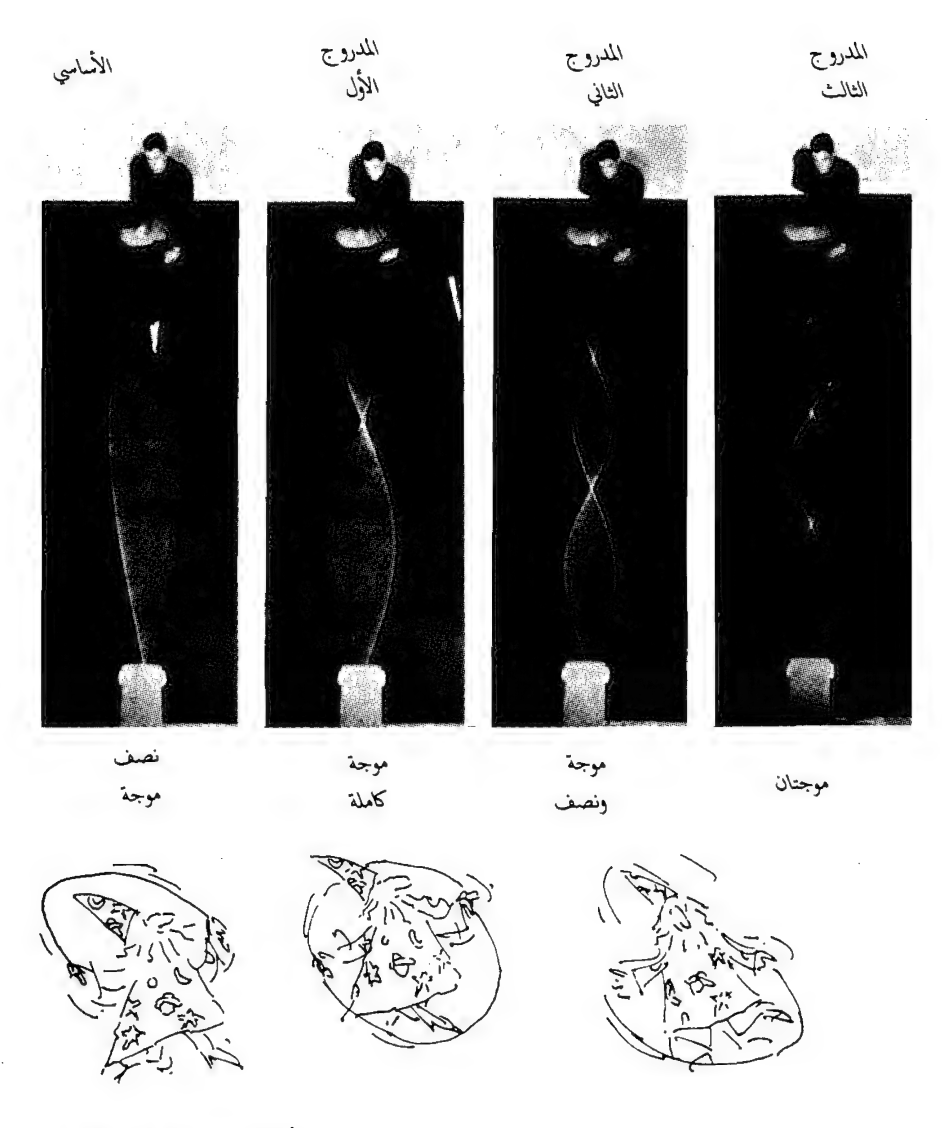
كادت نار الرغبة في نموذج ميكانيكي للذرة أن تحظى بوقود جديد . فمدارات بور كانت مقلقة جداً . وكان على الإلكترونات أن تمتلك سبباً يمنعها من أن تشع حينما تلتزم بمثل تلك الحركات الدورية . زد على ذلك أن لا بد من وجود سبب فيزيائي طبيعي لدستور بلانك العجيب E = hf ، الذي يربط ما بين فوتونات أينشتاين الضوئية وبين تواتر تلك الحركة الموجية الضوئية . ولكن ما تفسير ذلك كله ؟ بما أن ميكانيك نيوتن التقليدي عاجز عن ذلك ، فقد يلقي ميكانيك أينشتاين « الجديد » في النسبية الخاصة بعض الضوء على الضوء . وربما كانت تلك رغبة الأمير سليل الارستقراطية الفرنسية لوي فكتور دوبروي . **L.V.De Broglie**

ينحدر دوبروي من سلالة ملكية فرنسية عريقة . كانت عائلته قد اشتهرت منذ الحرب الأمريكية الثورية ، حينما قاتل أسلافه إلى جانب الثوريين . ورغم أنه كان قد أتم دراسته في علم التاريخ عام ١٩١٠ فقد أقنعه أخوه ، الفيزيائي المعروف موريس ، بالعودة إلى المدرسة لدراسة الفيزياء . وما لبث لوي أن افتتن بالجدل حول ميكانيك الكم وبأفكار أينشتاين . وبعد أن قطع دراسته حين سيق مجنداً إلى الحرب العالمية الأولى نشر عام ١٩٢٢ ورقتين حول فكرة أينشتاين عن الضوء الموجي / الجسيمي . وفيهما لفت النظر إلى السلوك المثنوي للضوء . كانت هنالك تجارب تبين أن الضوء اهتزاز موجي يصل تواتره إلى عدة ملايين الدورات ، كما كانت هنالك تجارب أخرى يحدث فيها انتقال فوري للطاقة من الضوء إلى المادة ، ومن المادة إلى الضوء ، وتُبين أن الضوء يتألف من جسيمات سُمِّيت **فوتونات** .

لقد رغب دوبروي في تقديم شرح رياضي للمثنوية **duality** الجسيمية الموجية في طبيعة الضوء . ولذلك احتاج إلى البحث عن سبب ميكانيكي يجعل الفوتونات تمتلك في الموجة طاقة تتعين بتواتر تلك الموجة . وكان أن خطرت له ، في أثناء بحثه هذا ، فكرة أن المادة تمتلك هي الأخرى طبيعة موجية .

كان دوبروي عالماً بنتيجة بور الغريبة ، التي تقول بأن الإلكترون لا يمكن أن يتخذ في الذرة سوى مدارات خاصة ، وأن الإلكترون ملتزم بأن يملك في كل واحد من هذه المدارات عدداً صحيحاً من وحدات العزم الزاوي ، أي أضعافاً غير كسرية من ثابتة بلانك h . وعندئذ فطن إلى ظاهرة موجية أخرى ، فقد تذكر **الأمواج المستقرة** standing waves .

إذا تأملنا لحظة في اهتزاز وتر الكمان نرى التشابه الذي رآه دوبروي . إذا نقرت وتر الكمان تراه يأخذ بالاهتزاز ، أي أنه يتحرك صعوداً وهبوطاً بأسلوب مميز . يظل طرفاه ساكنين طبعاً لأنهما مثبتان.لكننا لو راقبنا أجزاءه بعناية نرى أن الوتر يشبه الموجة . نرى منتصفه يهتز جيئة وذهاباً . يسمى هذا النوع من الموجة **موجة مستقرة** : نقاط الوتر تهتز دون أن ينتشر الاهتزاز على طول الوتر . وصوت الكمان ناجم عن هذه الموجة المستقرة .



أمواج استقرارية في « حبل يقفز ».

من الممكن أيضاً أن نسمع ونرى اهتزازاً آخر في الوتر نفسه . في هذا الشكل الاهتزازي الجديد نرى أن منتصف الوتر يظل ساكناً وأن بقية نقاطه ، باستثناء طرفيه ، تهتز . والصوت الذي نسمعه هو الذي يسميه الموسيقيون « الجواب » الأعلى مباشرة للصوت السابق . وهذه الصورة الموجية ، التي تسمى **المدروج الثاني harmonic** ، ذات تواتر يساوي ضعفي التواتر الأول ؛ وإذا تفحصنا الوتر عندئذ عن كثب نرى حركتين اهتزازيتين في جهتي نقطة المنتصف الساكنة .

نقول إن الوتر يُصدر المدروج الثالث إذا رأينا فيه نقطتين ساكنتين ، إضافة إلى الطرفين . ويُطلق الاسم **عقدة** على كل نقطة ساكنة . وبازدياد عدد العقد في الوتر المهتز يزداد تواتر الموجة المستقرة وترتفع معه طبقة الصوت المسموع .

لقد لاحظ دوبروي تشابهاً بين عدد وحدات العزم الزاوي للإلكترونات في مدار بوري وبين عدد العقد في موجة مستقرة . إن الإلكترون الدائر في الذرة لا يمكنه أن يمتلك سوى وحدة واحدة من h أو اثنتين أو ثلاث أو .. فهل هذه التغيرات التقطعية المباحة للعزم الزاوي للإلكترون ، التي تساوي أضعافاً صحيحة من h ، ناجمةٌ بشكل ما عن تغير يشبه ما يحدث في الأمواج المستقرة ؟

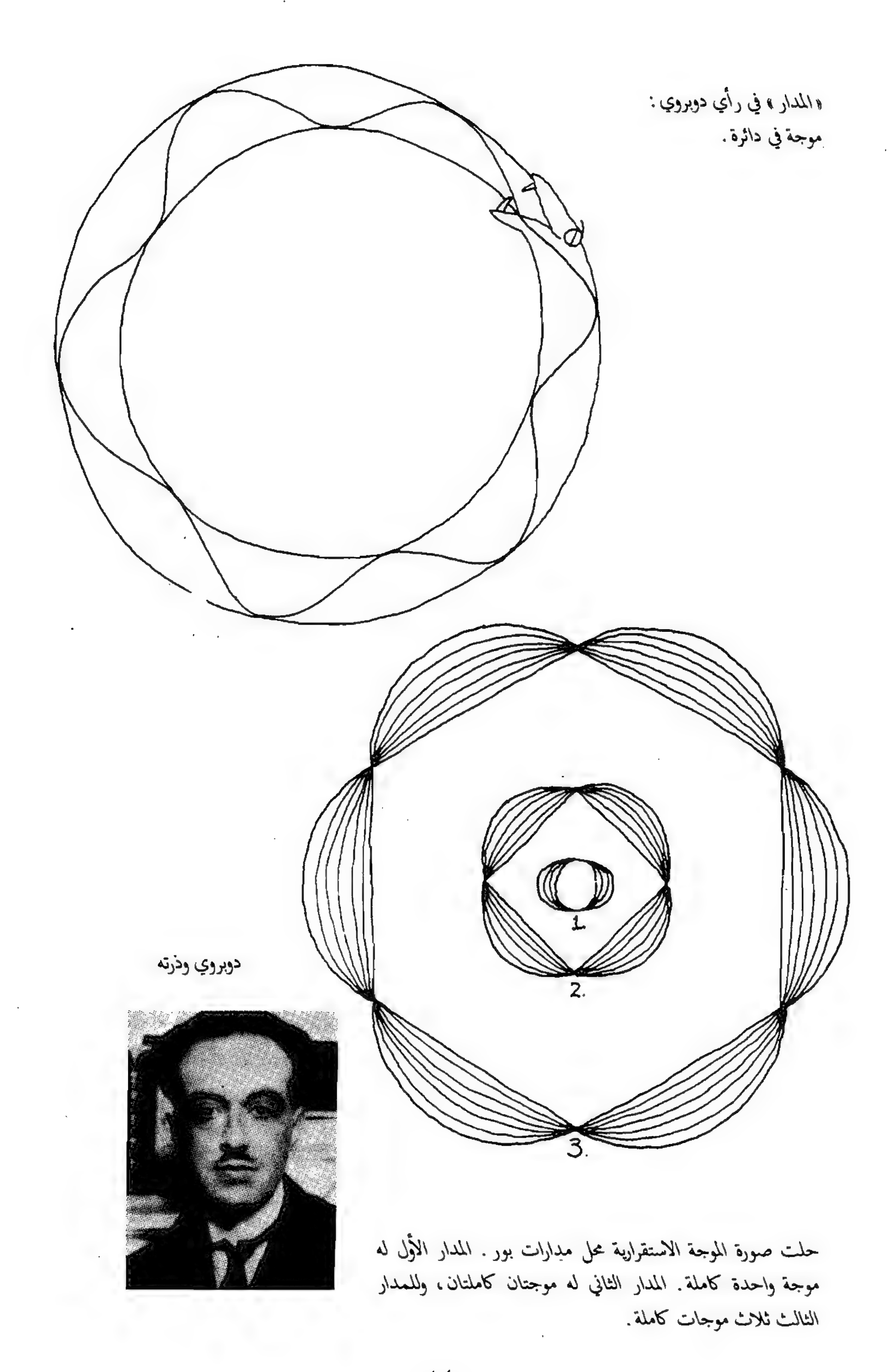
كان الذي لاحظه دوبروي في هذا التشابه هو أن عدد العقد عدد صحيح في أية صورة موجية مستقرة . فأخفض تواتر في موجة مستقرة يملك عقدتين ، في نقطتي الطرفين . والتواتر الأعلى مباشرة يمتلك ثلاث عقد . أما الموجة المستقرة التـاليـة فتمتلك أربع عقد ، وهكذا . وبما أن الطاقة أصبحت تواتراً ، بموجب دستور بلانك $E = hf$ ، فهل يمكن للمدارات ذات الطاقة الأعلى في ذرة الهدروجين أن تقابل التواترات المدروجية الأعلى في الموجة المادية ؟

هكذا أدرك دوبروي أن مدار بور يمكن أن يُعتبر وكأنه وتر كماني دائري ، ثعبان يتلوى وهو يعضُّ ذيله . فهل يمكن أن يوجد في هذه الصورة تقابل بين اتسـاع المدار ، الذي تتنبأ به « أمواجه المادية » المستقرة ، وبين الدوائر المدارية التي حسبها بور ؟ أو ، بتعبير آخر ، ماذا يمكن لأمواجه هذه أن تفعل إذا حُصرت في دائرة ؟

اكتشف دوبروي أن أمواجه المادية المستقرة تتفق بالضبط والتمام مع مدارات بور . وعندما حسب الطول الموجي في أصغر مدار اكتشف رابطة رياضية مدهشـة أخرى بين الموجه والجسيم : إن اندفاع (جداء الكتلة بالسرعة) الإلكترون الدائر يساوي ثابتة بلانك مقسومة على طول الموجة . عندئذ تأكد من حســاباته ونظر في أمر المدار الثـاني ، الذي ينطوي على طاقة أعلى . فتـأكدت له مرة أخرى صحـة ما اكتشفه .

كان اندفاع الإلكترون ، في كل واحد من مدارات بور ، يساوي حاصل قسمة h على طول الموجة المستقرة . وهكذا اكتشف دوبروي دستوراً جديداً فيه من الثورية والعجب ما في دستور بلانك . يقول هذا الدستور بأن اندفاع الجسيم ، p ، يساوي ثابتة بلانك مقسومة على طول الموجة ، L : أي $p = \frac{h}{L}$.

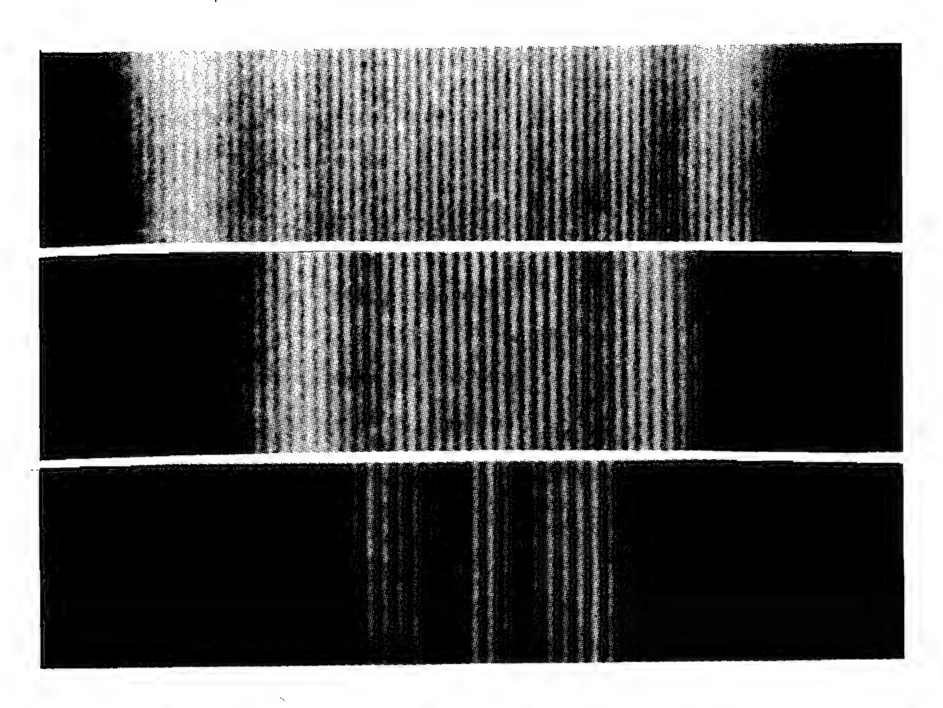
وباكتشاف هذا الدستور الرياضي الجديد أصبح بالإمكان تفسير مدارات بور . أصبح كل مدار صورة لموجة مستقرة . المدار الأخفض له عقدتان ، وللذي يليه أربع عقد لأن المدار ذا العقد الثلاث لا بد أن ينتفي من تلقـاء نفســه . وللمدار الثالث ست عقد ، وهكذا . أما طاقة الإلكترون على كل مدار فتساوي h مرة من تواتر الموجة ، واندفاع الإلكترون فيه يساوي حاصل قسمة h على طول الموجة ، L . الرياضيات تعمل على ما يرام . أصبحت الذرة آلة مولِّفة (مدوزنة) . وهاتان العلاقتان الرياضيتان توفران



« المدار » في رأي دوبروي :
موجة في دائرة .

دوبروي وذرته

حلت صورة الموجة الاستقرارية محل مدارات بور . المدار الأول له موجة واحدة كاملة . المدار الثاني له موجتان كاملتان ، وللمدار الثالث ثلاث موجات كاملة .



صور تداخل موجي مادي. إن طول الموجة المواكبة للإلكترون يتغير بتغير اندفاع الإلكترون. إن الفواصل بين « الأسنان » تزداد بتزايد طول الموجة.

للإلكترون اتزاناً في صورة موجة مستقرة مولفة. أي أن المدارات المباحة هي تلك التي تضمن حصول « صور موجية » مستقرة ذات خصائص كمومية.

لقد نشر لوي دوبروي تفاصيل أعماله في أطروحة أصبح بها دكتوراً في الفيزياء. قدم هذه الأطروحة ببعض التحفظ أمام كلية العلوم في جامعة باريس عام ١٩٢٣. كانت أطروحته بدعة حقيقية، وربما أكثر من اللازم بقليل. كانت دراسة الذرة تُعدُّ فرعاً من الفيزياء، لا من الموسيقا. ولم يكن يوجد مسوِّغ تجريبي لهذه الفكرة « الجنونية ». والواقع أن استخدام فكرة لا معقولة من هذا القبيل لشرح أفكار بور اللا معقولة بدا للمحفل العلمي الفرنسي شيئاً يجب التحفظ إزاءه.

وكان أن استنجد أحد أعضاء اللجنة الفاحصة بأينشتاين، فأجاب: « قد يبدو ذلك جنونياً، لكنه حقاً ذو صدى! ». ومع ذلك قُبلت الأطروحة. وبعد ذلك بقليل نال الأمير جائزة نوبل على هذه العملية التشريحية. ذلك أن أحد الأمريكيين ما لبث أن اكتشف بالتجربة موجة من موجات دوبروي.

حبيبات أمواج أمريكية

لقد رحب أينشتاين بالصورة التي رسمها دوبروي . فقد كانت تعني عودة إلى الآلية الاستمرارية . إن الموجة التي تواكب الإلكترون في الذرة قد اكتُشفت الآن . ومن حسابات دوبروي للاندفاع تبين أن طول موجة دوبروي ، L من اجل إلكترون ذي سرعة عالية ، لا بد أن يكون بالغ الصغر . والحقيقة أن هذه الموجات الصغيرة جداً ، والمحصورة في مدارات ذرية جد صغيرة ، قلما يتجاوز طولها بضعة أجزاء من مليار من السنتيمتر . هذا حتى أن الموجات الضوئية أكبر منها بحوالي خمسة آلاف مرة . كانت موجة دوبروي تُعتبر مصاحبة لكل جسيم حيثما ذهب . أي أن الموجة المادية تسير مع الجسيم كظله . الاثنان يعملان معاً . تواتر الموجة يمكن أن يتعين دوماً بطاقة الجسيم ، وطول الموجة يحسب من اندفاع الجسيم . أصبح للمادة ، كما للضوء ، طبيعة مثنوية . تلك هي المثنوية موجة / جسيم .

وبينما كانت هذه المكتشفات الجديدة موضع أخذ ورد في أوربا ، اجتازت بعض حُمّاها المحيط الأطلسي إلى الولايات المتحدة . كان الأمريكيون أكثر اهتماماً بالاكتشافات العملية . كانت مختبرات بل Bell الهاتفية قمة الجانب العملي في البحوث الأمريكية . لكن كلينتون دافيسون C.Davisson ، الذي كان يعمل عند بل ، كان قد لاحظ في أبحاثه شيئاً مريباً . كان قد لاحظ أن الإلكترونات التي كان يستعملها في تجاربه تنعكس عن السطوح النظيفة لبلورات النيكل بشكل غير متوقع . ومن ثقته بنتائجه نشرها دون أي تعليل .

عبرت نتائج دافيسون المحيط الأطلسي إلى أوربا . وما لبثت أن أثارت حماس فيزيائيين ألمانيين اثنين ، جيمس فرانك franck والتر إلساسر Elsasser ، حين رأيا صور انعكاس الإلكترونات . لم يكن لهذه الصور أي معنى إلا إذا كانت صور تداخل موجي ناجم عن الأمواج المادية للإلكترونات وهي ترتد عن ذرات النيكل .ولدى التأكد من قيمة اندفاع الإلكترونات التي استخدمها دافيسون استطاع فرانك وإلساسر أن يعينا صورة لانعكاس الإلكترونات . كانت صورتهما هذه تعتمد على طول الموجة L المستمد من دستور دوبروي : $p = \frac{h}{L}$. كانت النتيجة اتفاقاً تاماً مع نتائج قياسات دافيسون ، فكان ذلك أول برهان تجريبي على وجود موجات دوبروي .

بعدئذ توالت التجارب . ومع اكتشاف النترون ، الجسيم المكنون ضمن نواة الذرة ، صنع الفيزيائيون صور انعراج نتروني تبين أنه يماثل تماماً ما كان رآه دافيسون . وبذلك أدرك العلماء أن كل جسيم ، مهما كان جنسه ، يولّد موجة كلما أُرسلت حزمة جسيمات من جنسه على بلورة ذات خصائص تتيح لهذه الموجات أن تتداخل بعضاً مع بعض .

وهكذا تم قبول الموجات المادية . والواقع أن قبولها كان تاماً لدرجة أن بدأ الفيزيائيون يرتابون حتى بوجود الجسيمات . إذ ربما كانت الموجات قد خُلقت لتتداخل بعضاً مع بعض ولتصنع بهذا التداخل جسيماً . فهل يمكن لهذه الفكرة أن تُصَرَّ في تحليل رياضي متقن ؟

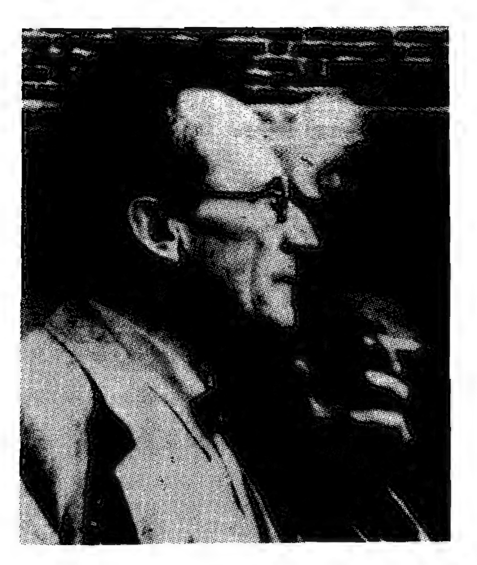
كان مثل هذا التحليل ضرورياً لسبب آخر أيضاً . فموجات دوبروي تصح فقط في حزم الجسيمات ومدارات بور المغلقة ؛ لكن كيف يعمل الإلكترون للقفز من مدار لآخر ؟ أي ماذا يحدث ميكانيكياً واستمرارياً في الذرة ؟ إن ميكانيك نيوتن لم يكن قد مات ، بل اعتراه تعديل كي ينسجم مع شكل المادة الجديد ــ المادة الموجية . لا بد أن هناك طريقة لتوصيف الحركة ضمن الذرة توصيفاً يتيح للإلكترون أن يغير مداره ويشع فائض طاقته على شكل ضوء . وللعثور على جواب هذه المسألة لا بد من خبير بالأمواج .

أمواج لا يمكن تصورها : شرودنغر ونهاية صور

كان هناك حتماً شيء يقال بخصوص موجات دوبروي : إنها على الأقل ترسم صورة لما يحدث ضمن الذرة . لكن هناك حاجة لأكثر من ذلك ، حاجة لإيضاح صورة الموجة عندما تغير طاقتها وتشع ضوءاً . إذ لم تكن إلكترونات بور القافزة ولا موجات دوبروي المستقرة كافيتين لتفسير صدور الضوء عن الذرات . لكن الفيزيائي النمساوي ، إرفين شرودنغر ، وجد معادلة رياضية تشرح تغير صورة الموجة ضمن الذرة .

لقد قدمت معادلة شرودنغر توصيفاً رياضياً استمرارياً . كان شرودنغر يرى أن الذرة تشبه وتر كمان يهتز ، وأن حركة الإلكترون من مدار لآخر ذي طاقة أقل ليس سوى تغيير في النغمة . فعندما يعاني وتر الكمان مثل هذا التغير يتاح له ، في لحظة ما ، أن يُصدر النغمتين كليهما . وهذا ناجم عن شيء معروف في تآلف الأنغام أو ، كما يقول المختصون العلميون ، عن ظاهرة **التخافقات** beats . والتخافقات بين نغمتين هي التي نسمعها ونسميها تآلفاً harmony . ونشعر بالتخافقات وكأنها نغمة ثالثة . وتتعين الصورة

شرودنغر : كانت تتراقص في ذهنه موجات رياضية .



الاهتزازية للتخافقات بالفرق بين التواترين المتآلفين .

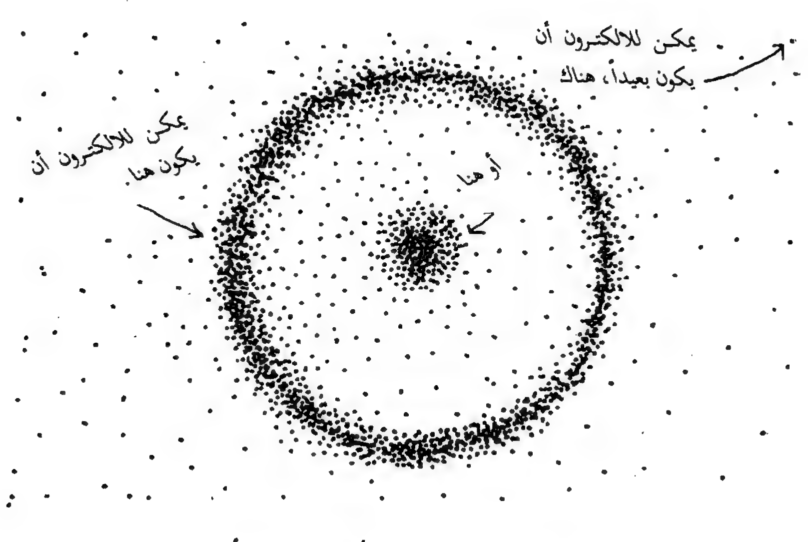
كان هذا بالضبط الشيءَ اللازم لشرح تواتر الموجات الضوئية المرصود ، أو الفوتونات التي يطلقها الإلكترون عندما يعاني تغيراً من مدار لآخر . فالضوء إذن تخافق ، أو تآلف ، يحصل بين مدروجين ، منخفض وعال ، من مدروجات موجات دوبروي ــ شرودنغر . وعندما نرى ضوءاً ذرياً نرى ذرة تنشد أغنية متآلفة . وبهذا الشرح كان شرودنغر يأمل في إنقاذ استمرارية العمليات الفيزيائية .

لكن الفيزيائيين لم يشعروا كلهم بالارتياح حيال هذه المعادلة الموجية . إذ لم يستطع أي منهم أن يتخيل لهذه الموجات وجهاً . كانت موجات تفتقر إلى وسط تتموج فيه ، ولم يكن لها شكل يُعرف في فضاء فيزيائي . إنها لا تشبه الأمواج على سطح الماء ولا أمواج الصوت ، بل هي موجات تجريدية رياضية قابعة أوصافها في أحشاء توابع (دالآت) رياضية .

إن تخيل صورة فيزيائية لتابع رياضي عملية صعبة ، لكنها ليست مستحيلة . فإذا كنت قد خوَّضت ذات يوم في ماء بركة ضحل ، فلا بد أن تكون قد رأيت وجهاً فيزيائياً لتابع رياضي ناجم عن بعض أطفال لم يستطيعوا أن يمسكوا أنفسهم عن البول في الماء . فعندما تنتقل من مكان لآخر في البركة تشعر دون شك بأن بعض مناطقها دافئة وبعضها الآخر باردة . أي أن سخونة الماء ليست واحدة في كل مناطق البركة . فالسخونة تابع رياضي للموقع في الماء . وبمرور الزمن يمكن للسخونة أن تتغير في كل موقع من الماء ، أي أنها تابع لزمن الرصد . وبتعبير آخر نقول إن درجة حرارة الماء تابع رياضي للمكان وللزمن . وعلى غرار ذلك كانت معادلة شرودنغر تابعاً للمكان وللزمن . لكن المشكلة الوحيدة كانت أنها لم يعرف أحد أن يعين

ذرة الهدروجين في رأي شرودنغر : صورة احتمالية .

الالكترون الواحد موجود ، كسيدنا الخضر ، في كل مكان .



ذرة هدروجين شرودنغر : قبل أن تصدر إشعاعاً.

بوساطتها « المواقع الحارة والمواقع الباردة » ــ أي بتعبير آخر ، وديانها وقممها . زد على ذلك أن الموجة أصبحت أعقد عندما أصبحت الذرة آعقد . فالموجة التي تصف إلكتروناً واحداً ، مثلاً ، أصبحت تابعاً لموقع الإلكترون في المكان وفي الزمان . صحيح أن هذه الحالة لا تستعصي على الحل ؛ لكننا إذا درسنا ذرة الهليوم نجد أنها تنطوي على إلكترونين اثنين ، لكن على موجة واحدة . عندئذ يكون سلوك الموجة متوقفاً على موقعي كلا الإلكترونين في وقت واحد . وعندما يزداد العدد الذري للذرة يزداد معه عدد إلكتروناتها . فاليورانيوم ، الذي عدده الذري 92 ، تنطوي ذرته على 92 إلكتروناً يصفها كلها تابع موجي رياضي واحد . وعلى هذا لم يمكن ايجاد طريقة ملائمة لتوصيف هذه الموجة .

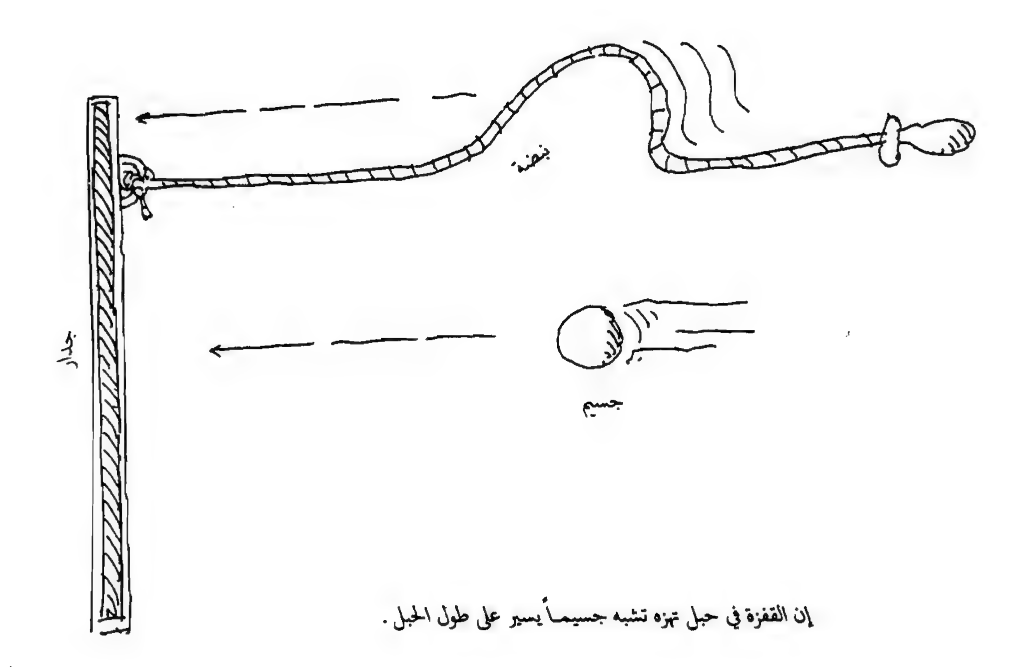
لكن ثبت أن موجة شرودنغر لا يمكن الاستغناء عنها رغم صعوبة تصورها . ذلك أنها فسرت عدداً كبيراً من الظواهر الفيزيائية التي استعصى تفسيرها على النماذج التقليدية . كانت طريقة رياضية ناجحة لتفسير صدور الضوء عن الذرة والاهتزازات الجزيئية **molecular** وقدرة الغاز على امتصاص الحرارة في سخونات منخفضة جداً . فصار الفيزيائيون يتحمسون لتطبيق رياضيات شرودنغر على أي شيء يقع في أيديهم . لقد أصبحوا كزمرة أطفال غزت مطبخاً ، وبعد أن فشلوا في محاولات طبخ كعكة عثروا فجأة على كتاب مهم في أصول الطبخ . كانت معادلة شرودنغر وصفة صحيحة يحاولون تطبيقها على كل ظاهرة فيزيائية تخطر بالهم .

أصبحت موجة شرودنغر عقيدة راسخة لدى العلميين كلهم ، وإن لم يستطع أي منهم أن يعرف

كيف تتموج في المكان وفي الزمان . كان على الموجة أن توجد بكيفية ما . كانت الرياضيات كافية ولو بدون صورة فيزيائية ـــ شرط أن تعرف كيف تقرأ كتاب الوصفة . هل تستطيع الموجة أن تصنع جسيماً ؟ هل هناك طريقة لاستخدام كتاب وصفات شرودنغر لطبخ جسيم ؟ رغم أن ذلك قد استحال على رئيس الطباخين . ولكن كيف يستطيع المرء أن يستعمل الموجات لطبخ الجسيم ؟ إن الجواب كامن في مفهوم الجسيم لدينا . إنه شيء صغير جداً يختلف عن الموجة بخاصية بارزة : إنه موضعي : أي أنه يحتل منطقة محددة تماماً من الفضاء . فأنت تعرف دوماً أين هو . إنه يحتل مكاناً واحداً في كل لحظة معينة .

أما الموجات فلها شأن آخر . إنها غير موضعية . إنها تمتد على مناطق واسعة من الفضاء وتستطيع ، في الواقع ، أن تحتل أية منطقة من الفضاء حاوية على عدة مواضع في لحظة معينة واحدة . لكن الموجات يمكنها أن تنضم معاً . وعندما تنضم عدة موجات معاً يمكن أن تحدث أمور مدهشة . ولا تشذ موجات شرودنغر عن ذلك . إنها يمكن أن تُضاف كالتوابل إلى الوصفة وأن تولد ما يسمى **نبضة pulse شرودنغر** .

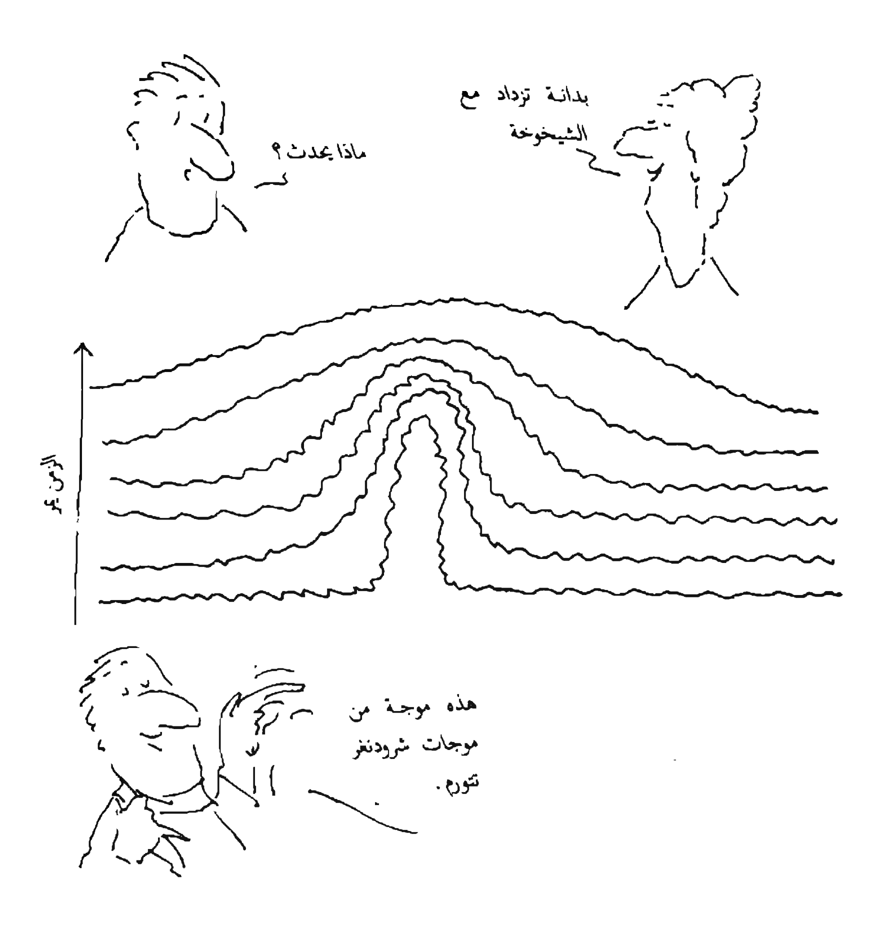
إن النبضة نوع خاص من الموجة . فإذا ربطت طرف حبل بجدار وشددت طرفه الآخر بيدك تستطيع أن تصنع نبضة في الحبل المشدود وذلك بأن تعطي طرفه الذي بيدك حركة صعود وهبوط واحدة سريعة ومفاجئة . ترى عندئذ أن النبضة تذهب من يدك على طول الحبل نحو الجدار ثم تنعكس عنه . وهذه



إن القفزة في حبل تهزه تشبه جسيماً يسير على طول الحبل .

العملية تشبه كرة قُذفت نحو جدار ثم ارتدت عنه . ربما كان هذا كلّ ما يحدث للإلكترون . إنه نبضة نحو جدار غير مرئي .

لكن النبضة الشرودنغرية ذات سمة مربكة جداً : إنها تسمن وهي تشيخ . أي أنها تمتط وتعرُض كلما عاشت أكثر . والمشكلة أنها لا تملك شيئاً يمنعها من ذلك . إنها مصنوعة من موجات أخرى ، ولكل واحدة من هذه الموجات سرعة خاصة بها ؛ وبمرور الزمن لا بد أن تنفصل كل موجة عن زميلاتها . ولا تظل النبضة ملمومة إلا بمقدار ما يدوم ائتلاف الموجات معاً .

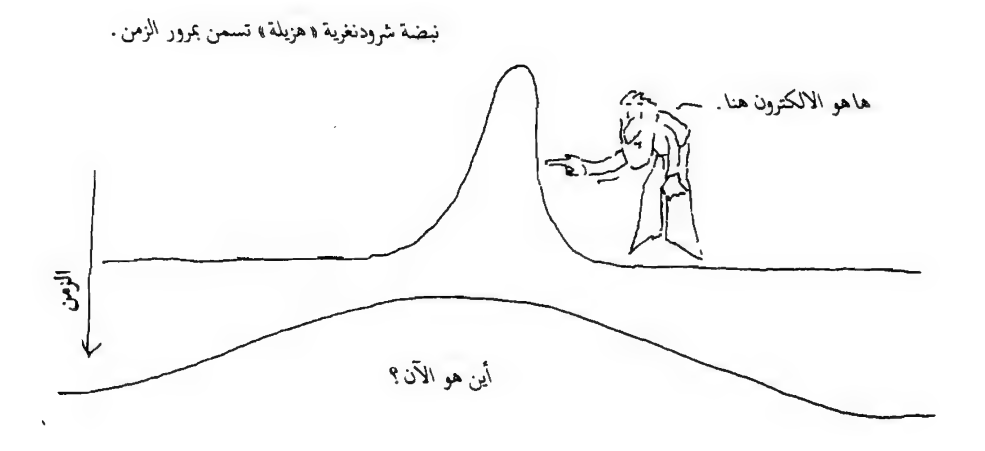


جسيم حر ، في رأي شرودنغر : ينتشر حالاً بعد أن تجده .

تصور إذا شئت النبضة وكأنها كوكبة خيل تنطلق في السباق مجتمعة معاً . إن الخيل لا تظل مجتمعة إلا لوقت قصير . ثم يحدث أن يعدو كل حصان بسرعته الخاصة فتصبح البطيئة في المؤخرة والأسرع في المقدمة ؛ وبمرور الزمن تتزايد المسافة بين الأبطأ والأسرع . وعلى غرار ذلك تصبح النبضة أطول عندما تتخلف الموجات الأبطأ عن الموجات الأسرع .

هذا ورغم أن الأجسام الكبيرة ، ككرات المضرب ، مصنوعة من موجات أيضاً فإن الجسم الأكبر يكون ذا موجات أبطأ . ولذلك تحتفظ كرة المضرب بشكلها لأنها ذات حجم كبير . وعلى هذا فإن نبضة شرودنغر المتعلقة بكرة المضرب لا تسبب أي إرباك .

لكن الإلكترون حصان من طينة أخرى . فعندما يكون حبيساً في الذرة تسلط عليه النواة قوة كهربائية تبقيه في أحشاء الذرة ، فلا يتاح لموجاته انتشار إلا في حجم صغير لا أكثر . لكنه إذا تيسر له الخروج من هذا السجن وانفلت حراً ، عندئذ تبدأ النبضة / الجسيم ، التي تتشكل من انضمام موجات صغيرة جداً في البدء ، بالامتطاط سريعاً جداً . وبأقل من جزء من مليون من الثانية تصبح بحجم ملعب كرة القدم تقريباً ! لكن لم يلحظ أحد قط ، بالطبع ، إلكتروناً بهذا الحجم . فالإلكترونات تظهر دوماً ، وأنى ظهرت ، كبقع بالغة الصغر .



إن هذا التناقض بين الإلكترونات حين تُرصد وبين أوصافها المستمدة من معادلة شرودنغر الرياضية ينبئ عن مشكلة جديدة : ما الذي يمنع النبضة / الإلكترون من النمو بهذا الشكل السريع ؟ لم يفطن سوى

نفر قليل إلى أن هذه المسألة ستفتح باباً للمفارقات والعجائب وستقود إلى صورة أخرى . كان الجواب هو : إن الرصد البشري هو الذي يمنع الإلكترونات من بلوغ ذلك الحجم . ونحن الآن على عتبة اكتشاف تقطع جديد .

الفصل السادس

لم يشاهد الريح أحد

ليس العالم أغرب مما نتخيل فحسب ،
بل وأغرب مما نستطيع أن نتخيل

J.B.S. Haldane

الله يرمي حجر النرد : التفسير الاحتمالي

قد يكون صعباً على غير العلميين أن يتصوروا مبلغ الاستنكار الذي قوبلت به فكرة الحركة التقطعية للمادة في أوساط الفيزيائيين الذين يحبون الاستمرارية . لكن التقطعية في حركة الضوء ظلت ، لدى أينشتاين ، ذات صلة بالصورة الميكانيكية ، والضوء فيها مصنوع من حبيبات . ثم جاء بور وإلكتروناته ذات القفزات الكمومية ضمن الذرات الصغيرة . وقد انزعج الاستمراريون من هذه الفكرة لأنهم لم يستطيعوا أن يفهموا كيف يمكن للجسيم أن يتصرف بهذا الشكل . وعندما أتى دوبروي وشرودنغر بتفسيرهما الموجي تنفس الاستمراريون الصعداء .

كانت صورة شرودنغر الذرية تبدو معقولة تماماً بالرغم من أنها معقدة وتعتمد على تابع رياضي موجي قلما يستطيع أحد تصوره . كان الإلكترون في الذرة موجة . والذرة تشع ، لا لأن إلكتروناتها تقفز من مدار لآخر ، بل بسبب تخافق تآلفي استمراري . أي أن الضوء يتولد عندما يعزف « صندوق الموسيقا » الذري في وقت واحد تواترين من طبقتين طاقيتين مختلفتين . كان الفرق بين تواتري الموجة الإلكترون ، أي الفرق الذي يقابل في نموذج بور الذري الفرقَ بين طاقتي المدارين ، يساوي بالضبط تواتر الموجة الضوئية المرصودة .

وبالتدريج تصمت نغمة التواتر الأعلى للموجة / الجسيم ، ولا يبقى سوى المدروج الأخفض . عندئذ تتوقف الذرة عن الإشعاع ، إذ لم يعد يوجد مدروج أعلى لحدوث التخافق . وتستمر الذرة كما كانت في هز إلكترونها الموجي بالتواتر الأخفض (تبعاً لدستور بلانك $E = hF$ ودستور دوبروي $p = \frac{h}{L}$) الذي لا يمكن رصده بسبب بقائه منضوياً بأمان داخل الذرة .

وبعد ذلك انهارت الصورة التي رسمها شرودنغر ، لكن معادلته الرياضية ظلت قائمة . وقد عبرّ لصديقه بور ، بعد أيام من المناقشة الطويلة والصعبة ، عن ندمه على التدخل في شؤون هذه الأشياء الكمومية القافزة . أصبحت المسألة تتلخص لا في كيفية ارتعاش الموجة وتراقصها ، بل في وجود جسيم معها في مكان ما . وكان ماكس بورن Born أول من اقترح تفسيراً لتلك التقطعية « الجسيمية » . لم تعد الموجة في هذا الاقتراح الجديد هي الإلكترون ، بل أصبحت موجة احتمال **probability** .

نال بورن جائزة نوبل عام ١٩٤٥ على تفسيره لتابع الموجة . وكان ذلك بعد ثلاثين عاماً من اقتراحه ، لأن جوائز نوبل كانت تُمنح آنئذ للأفكار النظرية بأبطأ مما تمنح للاكتشافات التجريبية . وقد شرح بورن أسبابه لمعارضة صورة شرودنغر الذرية . كان بكل بساطة على اطلاع على عدد كبير من الأعمال التجريبية . فقد كان على علم بتجارب التصادم التي تمت في مؤسسته بمدينة غوتنغن في ألمانيا . كانت العناية الكبيرة المبذولة في تقنيات الخلاء وفي التركيز الكهربائي لحزم الإلكترونات على الهدف قد

أدت إلى دراسات تفصيلية للتصادمات بين الذرات والإلكترونات . وبالرغم من اكتشاف الطبيعة الموجية للإلكترون ، أتت هذه التجارب مقنعة بأن الإلكترون ما زال جسيماً صغيراً بكل معنى الكلمة ، جوزة قاسية يصعب تكسيرها .

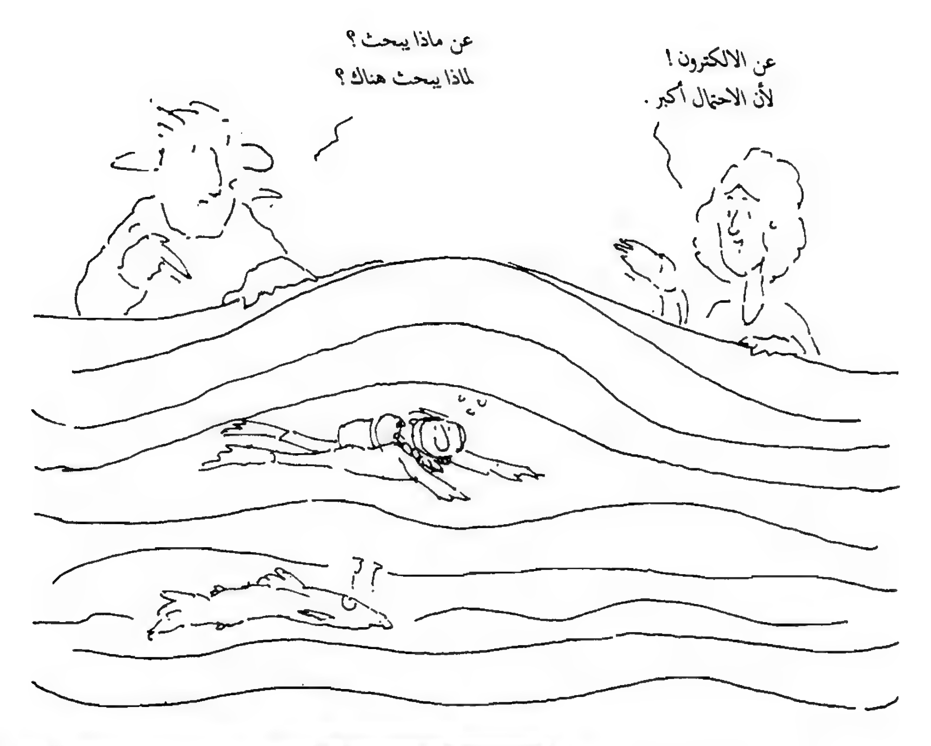
لم يكن يوجد شك في مقدرة رياضيات شرودنغر . كانت معادلته صادقة في وصف كل الظواهر الذرية التي أمكن رصدها . لكن كيف يمكن استعمال معادلة شرودنغر في دراسة تلك التصادمات التجريبية التي تمت في مؤسسة بورن ؟ أي ، بتعبير آخر ، ما كنه التابع الموجي الذي يصف حزمة إلكترونات ترجم ذرات غاز مخلخل ؟ ذلك أن الإلكترونات في الحزمة ليست محصورة ضمن أية ذرة ، بل هي تتحرك بحرية عبر الفضاء نحو هدفها ، ذرات الغاز هنا .

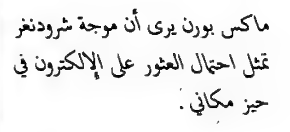
كانت نبضة شرودنغر ، التي تصف إلكتروناً مفرداً ، غير ملائمة لأنها تتضخم كثيراً جداً وبأسرع مما ينبغي . فهي لا يمكن أن تكون إلكتروناً حقيقياً صغيراً ، أي من النوع الذي يُرى يومياً في مختبر بورن . لكن بورن كان يعرف كيف يتعامل مع الرياضيات . كانت النبضات / الإلكترونات تسير ببطء ؛ فإذا راحت تعرُض بتلك السرعة يصبح من الصعب أن نعتبرها سائرة وهي تنتقل من منبعها إلى هدفها ضمن أنبوب الجهاز المستخدم . وعلى كل حال ، إذا كان على النبضات أن تتضخم عدة مرات ، فكيف يستطيع الإلكترون أن ينحشر ضمن الذرة ؟

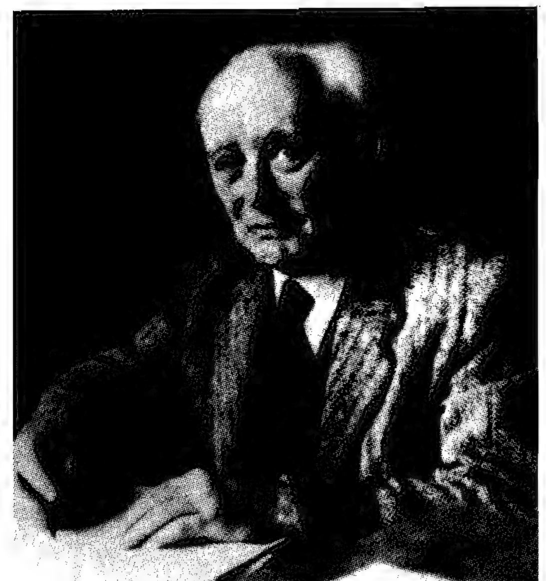
لقد أدرك بورن ، من خلال تجارب مؤسسته ، أن ما من أحد يستطيع حقاً أن يعرف موضع إلكترون فرد في حزمة إلكترونات .فهل يعني ذلك أن عرض النبضة ذو صلة ما بمعرفتنا لموضع كل إلكترون فرد ؟ عندما سمح بورن ، في معادلاته الرياضية ، للنبضات بأن تمتلك عرضاً يساوي أبعاد الحزمة تبين له أن انتشار النبضات يتلاشى عملياً . عندئذ شعر بورن بأن الوقت قد حان لإعطاء معنى جديد للموجة . إن الموجة ليست الجسيم الحقيقي . إنها ذات صلة ما بمعرفتنا لمواقع الجسيم . إنها ، في الواقع ، تابع احتمال .

إن توابع الاحتمال شائعة اليوم . وهي تُستعمل لوصف توزع حوادث ممكنة الحدوث . وكمثال نموذجي نسوق تابع الاحتمال من أجل قطعة نقود مقذوفة في الهواء . إن تابع احتمال أن تسقط بعدئذ على الأرض بوجه « الطرة » نحو الأعلى يساوي 0,50 . أما بعد استقرارها على الأرض فإن تابع الاحتمال يتغير . فإذا كانت الطرة هي التي ظهرت يصبح تابع الاحتمال مساوياً 1 . ولكن إذا ظهر « النقش » يصبح تابع الاحتمال مساوياً الصفر .

وتستعمل شركات التأمين توابع الاحتمال لمعرفة توزع حوادث السيارات . فسيل السيارات في سان فرانسيسكو كثيف كل يوم . وهذا يعني أن احتمال التصادم بين سيارتين كبير . وكلما اشتد ازدحام السير ازداد احتمال التصادم . لكن ازدحام السيارات أقل شدة في سان دييغو . ففي هذه المدينة تكون كثافة احتمال التصادم أقل . وإذا راقبنا ولاية كاليفورنيا كلها من قمر صنعي يصبح من السهل علينا أن نتنبأ أين يكون احتمال التصادمات أكبر ما يكون ، وأين يقل وأين يكون أصغر ما يكون . إنه يبلغ القيمة العظمى حيث يبلغ الازدحام ذروته .




ماكس بورن يرى أن موجة شرودنغر تمثل احتمال العثور على الإلكترون في حيز مكاني .



لقد أعطى بورن لسيل الإلكترونات صورة تشبه هذه الصورة كثيراً . فحيث تكون كثافة الالكترونات في الحزمة أكبر تكون شدة موجة شرودنغر أعظم . ولدى حساب هذه الشدة تبين بورن أنه يستطيع التنبؤ باحتمال حدوث تصادم بين إلكترون وذرة .

وما لبثت صورة بورن أن ولّدت انطباعاً عميقاً لدى زملائه الفيزيائيين . ومرة أخرى سُمعت تنهدات الارتياح من الفيزيائيين في كل المخابر الأوروبية . لكن هذه الصورة ما زالت تنطوي على ثغرة . إن فكرة بورن تظل ذات معنى طالما أمكن تطبيقها على حزمة أو على مجموعة فعلية . والفيزيائيون ، كخبراء شركات التأمين ، كانوا معتادين على استخدام فكرة الاحتمال عندما يتعاملون مع عدد كبير يكاد لا يحصى من الحوادث . وفي تجارب غوتنغن كان عدد حوادث التصادم لا يحصى . ولكن ماذا بشأن إلكترون فرد وحيد ؟ وذرة وحيدة ؟ كيف يجب في مثل هذه الحالة أن نفهم موجة شرودنغر ؟ هل في هذه الموجة وصف للإلكترون الفرد ؟

هل توجد موجة في تلك الحالات المعزولة ؟ وهل هي ، بتعبير آخر ، موجة حقيقية ؟ وإذا كانت الموجة وجهاً أساسياً من وجوه الطبيعة ينتمي إلى كل جسيم فرد من جسيمات الطبيعة فمن يُحدِّد أين يجب أن يوجد الإلكترون ؟ هل الطبيعة في جوهرها لعبة احتمال ؟ هل يلعب الله ، جل جلاله ، بالنرد في تدبير هذا العالم ؟

كان البحث جارياً عن تفسير جديد . وكان في الصورة الاحتمالية شيء خاطيء . ولكن ماذا يمكن أن يحل محلها ؟ كان الجواب عن هذا السؤال يختمر في ألمانيا بعد نهاية الحرب العالمية الأولى . وكان أن خطر مبدأ ثوري جديد بخصوص « الحقيقة » في بال رجل آخر ، مبدأ كان من شأنه أن يغيِّر تماماً أفكارنا حول العالم الفيزيائي.

مبدأ هايزنبرغ الارتيابي : نهاية النماذج الميكانيكية

لو كان عندي آلة تتحكم بالزمن واستطعت أن أعود القهقرى إلى فترة زمنية سالفة ، فما الفترة التي أختارها ؟ كنت سأختار عشرينيات هذا القرن . لكنني ما كنت لأتمنى أن أعود في الولايات المتحدة الأمريكية .كلا ، كنت أُفضل ، بدلاً من ذلك ، أن أكون في ألمانيا بعد الحرب العالمية الأولى . وبما أنني مفتون بما سمي عصر التدهور ومجتمع المقاهي ، كنتَ ستجدني مع أناس ذلك العصر ، مثل برتولد بريخت وتوماس مان . كانت بيوت الفن والأزياء مزدهرة ، وكان الفن المتحرر من التقاليد قد أسفر عن « الواقعية الحقيقية » عبر انحسار التقاليد الثقافية والأشكال الجمالية بانتشار موجة الهزل الساخر . كانت اللا عقلانية والمغامرات والأهواء تتحكم في سلوك الناس . كان عهد فرويد قد ولى ، وجاء عهد يونغ وأدلر . كانت الحياة تشبه جو حانات الملاهي .

والآن أضف الفيزيائيين . لقد نشأ من بينهم ، رغم أن عددهم لم يكن يتجاوز المئة ، نسل شاب

جديد فيه يافعون متحمسون يشقون طريقهم في الفيزياء الجديدة . كان بلانك قد تجاوز الستين ، وبلغ أينشتاين الأربعين . أما بور فكان نَصَفاً في الخامسة والثلاثين . كان هؤلاء المعتدلون الأكبر سناً وحكمةً مشاعل تنير الطريق لذلك النشء الجديد . وقد حان عهد تحرير الفيزياء من التقاليد ، وحدث ذلك في غوتنغن بألمانيا . ففي وقت مبكر من صيف ١٩٢٢ جاء إليها الأستاذ نيلز بور لإلقاء محاضرة ، بعد أن كان قد أصبح على رأس فريق جديد في إحدى مؤسسات الفيزياء الدانمركية اسمها مدرسة كوبنهاغن .

كان من بين الفيزيائيين الذين جاؤوا للاستماع إلى بور شاب عمره عشرون سنة واسمه فيرنرهايزنبرغ . كانت تلك أولى المناسبات العديدة التي اجتمع فيها هايزنبرغ ببور . لقد اشترك هذان الرجلان في تغيير وجه الفيزياء . كان من لهفتهما على تخليص الفيزياء من النماذج الميكانيكية أن وضعا أسس مذهب فكري جديد فيها ، مذهب التقطعات . وكانت تفاسيرهما ثورة في التفكير عنيفة . لقد كتب هايزنبرغ في كتابه ، الفيزياء وماوراءها ، بعد عدة ملاحظات حول نظرية بور الذرية ، ما يلي :

لا بد أن يكون بور قد استنتج أن ملاحظاتي نابعة من اهتمام بنظريته الذرية .. فأجاب بتردد ..وطلب مني أن ألقاه بعد الظهر للتنزه في جبل هاين .. كان لهذه النزهة أثر عميق في مسيرتي العلمية ، وقد يكون من الأصح أن أقول إن مسيرتي العلمية الحقيقية بدأت بعد تلك النزهة .. لقد أوحت لي ملاحظته [ذلك اليوم] أن الذرات ليست أشياء ...



هايزنبرغ الشاب : نظرة ارتياب ؟



لكن إذا لم تكن الذرات أشياء ، فما هي ؟ كان جواب هايزنبرغ يقول بوجوب التخلي عن كل الأفكار القديمة . إن الحركة يجب أن لا توصف بلغة المفاهيم التقليدية القائلة بأن الشيء يتحرك استمرارياً من مكان لآخر . فهذه الفكرة غير ذات معنى إلا في حال الأجسام الكبيرة ، أما إذا كان « الشيء » صغيراً فلا معنى لها . أي ، بتعبير آخر ، إن تلك المفاهيم غير عقلانية إلا حين تُعتمد لوصف أرصادنا العمليـة ، لا في التعبير عن آرائنا بخصوص ما **نظن** أنه حدث . والذرة ، بما أنها لا تُرى ، مفهوم عديم المعنى .

كانت آراء هايزنبرغ متأثرة بأينشتاين . ففي عام ١٩٠٥ فتح أينشتاين الطريق إلى النسبية . وقد بيَّن أن على المرء ، قبل أن يتكلم عن مفهومي المكان والزمان ، أن يقدم تعاريف عملية — تعاريف تُفصِّل كيف يقاس هذان الشيئان . فالمكان مثلاً ، هو الشيء الذي يقاس بالمسطرة ، والزمن يقاس بالميقاتية . إن المكان والزمان يفضحـان سـرهما لمن يملك هاتين الأداتين العمـليتـين الموضـوعيتين . وكل من يملكون مسـاطر وميقاتيات يمكن أن يتفقوا على التعريفين ، لأنهم يستطيعون أن يتفقوا على العمليات الواجب إجراؤها بهاتين الأداتين .

إن الفائدة من المفهوم تحصل حينما نعرف كلنا كيف ننجز قياسه . لقد قادت هذه النظرة هايزنبرغ إلى الشك في كل مفهوم لا يوجد له تعريف عملي يتيح قياسه . والذرات لا يمكن رصدها ، بل يمكن رصد الضوء الآتي منها . عندئذ أنشأ هايزنبرغ شكلاً جديداً من الأدوات الرياضية يعتمد على تواترات الضوء المرصود ، لا على موقع واندفاع إلكترون لا يمكن رصده ضمن ذرة غير مرئية . لقد نشأت هذه الأدوات الرياضية من رياضيات **الفواعل** operators ، لا من رياضيات الأعداد .

والفاعل في الرياضيات يقوم بمهمة . إنه يغير أو يعدِّل تابعاً رياضياً بطريقة معرَّفة . فالفاعل الذي يدعى « تربيعاً » مثلاً ، مهمته أن يضرب التابع الرياضي بنفسه (أي أن تسليط الفاعل « تربيع » على « X » يؤدي إلى « X^2 » . وعندما يُسلَّط على 5 يصنع 25 ، الخ) . ويمكن للفواعل أيضاً أن تتسلط بعضاً على بعض . فـ « التربيع » يمكن أن يُضرب بالعدد 3 ، الذي يمكن اعتباره فاعلاً أو عدداً على حد سواء . وهذا يصنع فاعلاً جديداً هو « 3 * تربيع » . وعندما يتسلط « 3 * تربيع » على 5 فإنه يصنع 75 بدلاً من 25 . وهكذا يمكن أن نضرب فاعلين أو أكثر معاً .وقد اكتشف هايزنبرغ ، بمساعدة بورن ، أن فواعله الرياضية ، التي تتعلق بالتواترات والشدات المرصودة في الضوء الصادر عن الذرات ، تطيع قواعد غريبة في عمليات الضرب . فترتيب الفواعل في هذه العمليات شيء مهم . فإذا كان الفاعلان ، مثلاً ، هما A و B ، فإن BA لا يساوي AB . (وفي مثالنا السابق نرى بسهولة أن تسليط « ثلاثة * تربيع » لا يكافىء تسليط « تربيع * ثلاثة » لأن تسليط الأول على 5 يعطي 75 ، في حين أن تسليط الثاني على 5 يعطي 225 . وهكذا نرى أن « ثلاثة * تربيع » لا يساوي « تربيع * ثلاثة ») . فهل يعني ذلك أن دنيا الفيزياء منوطة هي الأخرى بترتيب عمليات رصد الأشياء ؟ .

وبعـد ذلك خطـا بورن وباسكوال جوردان **Jordan** برياضيـات هايزنبرغ خطوة أخرى . وقد استوحيا مبدأ بور في التطابق الذي يبيِّن أن وجهة نظر الميكانيك التقليدي يجب أن تتطابق مع وجهة نظر

الميكانيك الكمومي عندما تكون الأعداد الكمومية التي تعيّن مدارات بور القديمة أكبر من الواحد بكثير . وباتباع هذا المبدأ استطاعا العثور على فاعلين رياضيين يقومان مقام موقع الإلكترون واندفاعه ، بدلاً من التواترات والشدات التي كان يستعملها هايزنبرغ . وقد فوجئا بأن هذين الفاعلين أيضاً يتعلقان بترتيب تسليط فعليهما . وعندئذ برزت صورة جديدة للعالم لم يتوقعها أحد .

لقد تبين فيما بعد أن أدوات جبر الفواعل ذات صلة بجبر المصفوفات matrixes . والمصفوفة جدول أعداد يجب معاملته بعناية بطريقة محددة جيداً . فالقواعد التي تحكم المصفوفات تبينت مطابقة للقواعد الرياضية المستعملة في التعامل مع الفواعل . وعلى هذا أصبح ميكانيك هايزنبرغ الكمومي يسمى **ميكانيك المصفوفات** . لكن التحريات استمرت في ميكانيك دوبروي وشرودنغر الموجي ، فتبين أن الشكلين الرياضيين ليسا سوى نسختين مقنّعتين لشيء واحد . كان شرودنغر هو الذي اكتشف ذلك وقدم برهاناً رياضياً على تكافئهما . وبذلك خبا الاهتمام مؤقتاً بميكانيك المصفوفات والفواعل .

لكن هايزنبرغ لم يكن مستعداً للتخلي عن الصورة التي استقاها من ميكانيكه المصفوفي . فراح يتحرى الأسس الرصدية للحقيقة مستخدماً موجة شرودنغر . كان تفسير بورن الاحتمالي يوحي بالطريقة التي يجب اتباعها وفقاً لتعاليم أينشتاين ، فحاول هايزنبرغ أن يجد الطريقة التي يمكن بها قياس موقع واندفاع جسيم له حجم الذرة .

إذا أردت أن ترى شيئاً عليك أن تُنيره بالضوء . وتعيين موقع الإلكترون يتطلب أن نستعمل حاسة البصر . لكن هايزنبرغ كان يعلم أن رؤية شيء صغير بحجم الإلكترون يستلزم مجهراً من نوع خاص . والمجهر يكبّر الصور بالتقاط أشعة ضوئية كانت في الأصل تذهب في اتجاهات شتى ويجبرها على الذهاب في اتجاه واحد نحو العين المفتوحة بانتظارها . وكلما كانت الفتحة ، أو العدسة ، التي يدخل منها الضوء في المجهر أوسع كانت كمية الأشعة الضوئية التي يلتقطها أكبر ، وبذلك تصبح الصورة التي تراها العين أحسن ، لكن الناظر يدفع لهذا التحسن ثمناً .

إن الثمن هو أننا لا نعرف عندئذ الطريق الدقيق الذي سلكه الشعاع الضوئي بعد أن غادر الشيء الذي هو الهدف الأول للعملية كلها . صحيح أننا سنراه — بعد قليل من اصطدامه بالفوتون الضوئي الصغير الذي التقطه المجهر . ولكن هل كان ذلك الفوتون ، قبل أن تلتقطه عدسة المجهر ، ذاهباً نحو الشمال أم نحو الجنوب أم نحو الجنوب الغربي ؟ إننا نخسر هذه المعلومة فور أن تلتقط العدسة الفوتون .

فما مغزى ذلك ؟ إننا حصلنا فعلاً على القياس الدقيق لموضع الإلكترون . نستطيع أن نقول فقط أين كان . ولكن ليس بالضبط . إذ ما زال علينا أن نهتم بنوع الضوء الذي نستعمله . تخيل أنك تجرب أن ترسم صورة زيتية بحجم قطعة النقود . فما نوع الفرشاة التي يجب أن تستخدمها ؟ لا شك أن قدرتك على إجراء هذه العملية تتحسن كلما ازدادت دقة شعيرات الفرشاة . وإذا أردت تصغير الصورة أكثر عليك أن تستخدم فرشاة ذات شعيرات أدق .

إن أنواع الضوء تختلف بأطوال موجاتها كما تختلف الفراشي بدقة شعيراتها . فلرؤية شيء صغير جداً

يجب استخدام ضوء ذي طول موجة صغير . وكلما كان الجسم الذي تبحث عنه صغيراً تحتاج إلى طول موجة أصغر . ولما كان الإلكترون صغيراً جداً كان هايزنبرغ يحتاج إلى ضوء ذي طول موجة صغير جداً . وهذا الضوء ليس من المجال الذي تراه العين ، رغم أنه يمكن أن يُستشعر بطريقة تشبه كشف الضوء المرئي . لكن دستور دوبروي يقول بأن تناقص طول الموجة يؤدي إلى ازدياد اندفاع الفوتون . وعلى هذا فإن الفوتون ، الذي يريد هايزنبرغ بوساطته رؤية الإلكترون ، سوف يصدم الإلكترون باندفاع عنيف .

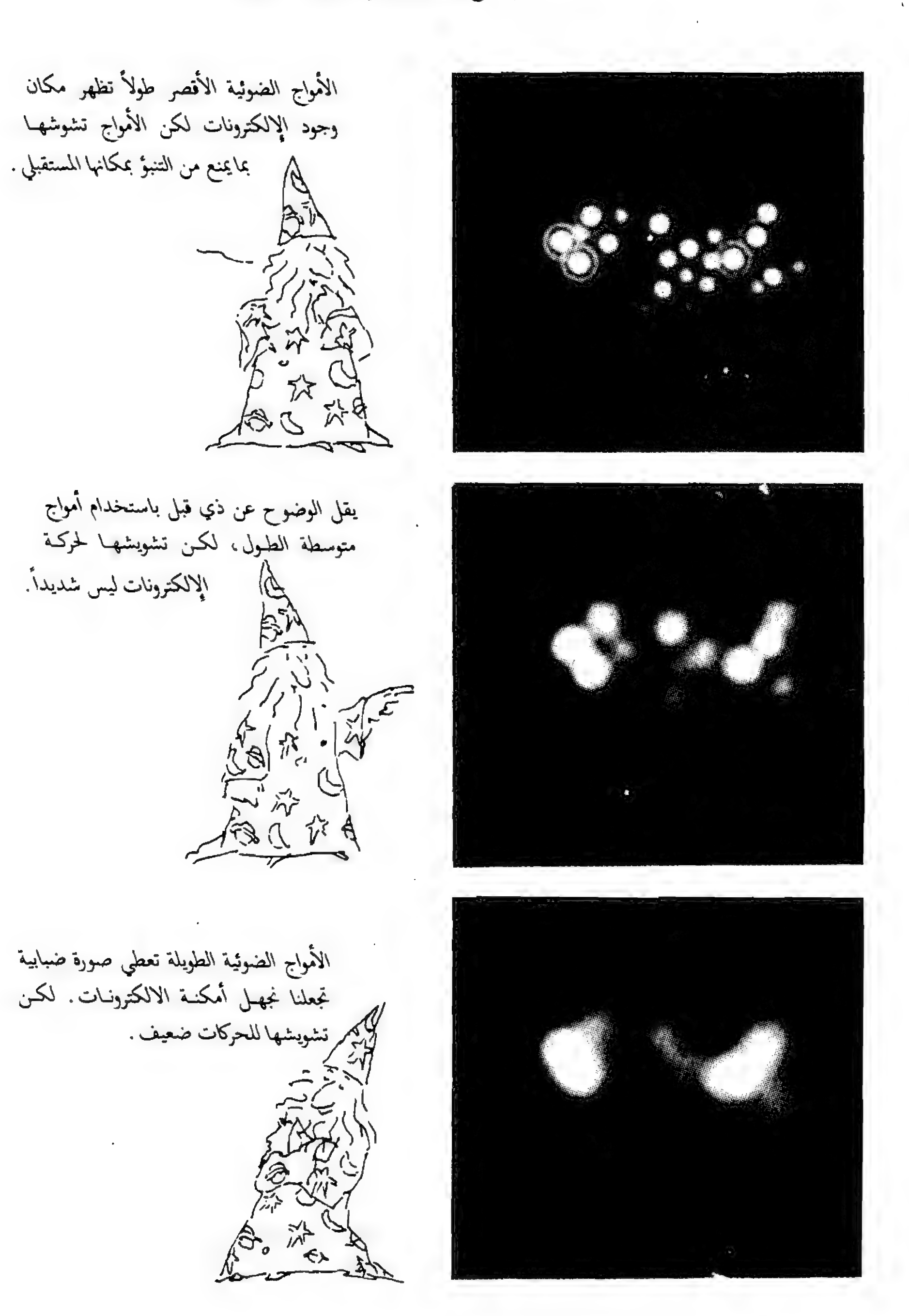
يقال في إحدى الملل البوذية إن طرد حبة زعرور بحبة زعرور أخرى عملية تُبرز ما هو حقيقي . والفوتون ذو الموجة القصيرة ، في مجهر هايزنبرغ ، زعرورة حجمها من حجم الإلكترون الذي تتحراه . فنحن ، إذا استطعنا التقاط الفوتون في فتحة المجهر الواسعة وإذا استطعنا بالتالي أن « نرى » موضع الإلكترون ، لن يكون لدينا البتة أية فكرة عن الموضع الذي سيكون فيه بعدئذٍ . فعملية رؤية الإلكترون تشوش حركته . أي أن معرفتنا لموضع الإلكترون تركتنا غير متأكدين من قيمة اندفاعه ، لا من السرعة التي كانت له لحظة الصدم ولا من اتجاهها .

يمكن أن نحاول معالجة الموقف باحدى طريقتين . أولاً ، نستطيع استخدام فوتونات لا تعطي الإلكترون « قرعة » بهذا العنف ، أي استخدام ضوء ذي طول موجة أكبر من ذي قبل . لكن لهذه المعالجة المحذور التالي : تسوء الدقة في معرفة موضع الإلكترون . أي أننا ، على شاكلة الرسام الذي يستخدم فرشاه ذات شعيرات ثخينة ، لا نستطيع إبراز تفاصيل صورة الإلكترون . أما الخيار الثاني فهو أن تُجعل فتحة عدسة المجهر أصغر من ذي قبل . لأن تصغير هذه الفتحة يتيح لنا أن نعيِّن بدقة أحسن الاتجاهَ الذي يتخذه الفوتون بعد اصطدامه بالإلكترون . لكن لهذه الطريقة أيضاً محذوراً آخر : يصبح تصرف الضوء ، أمام الفتحة الصغيرة ، أقرب ما يكون إلى تصرف الموجة . وهذا يعني أنه ينعطف أو ينعرج كما يفعل عندما يمر عبر ثقب . وكلما تقلصت الفتحة المتاحة للضوء ازداد انعطافه . أي أن الإمعان في تصغير الفتحة يسيء إلى معرفة موضع الإلكترون ، لأن الصورة التي تراها العين تتشوه بسبب انعراج الأشعة التي تشكلها .

إذا كنت قد جربت أن تقنع أحداً بتغيير نمط حياته فلا بد أنك لاحظت كم سبباً وجيهاً لديه يجعل اقتراحك عديم الجدوى . انك ستسمع منه ، حتى ولو كان هو الذي طلب النصح منك ، جواباً جاهزاً يقوِّض فكرتك فور أن تقدمها له . وربما أدركت أن صديقك العنيد كان قد اتخذ قراره سلفاً . وعلى غرار ذلك اكتشف هايزنبرغ سلوك الطبيعة العنيد . ومع ذلك كان يبدو أننا لا نملك طريقة للإمساك بها متلبسة بجرم مشهود . إذ كلما حسَّن المرء معرفته بموضع الإلكترون ساءت لديه معرفة الطريق الذي سوف يسلكه ، أي معرفة اندفاعه . والعكس صحيح أيضاً . ولكن هل تتكتم الطبيعة علينا ؟ إن هايزنبرغ لا يظن ذلك .

تذكر أننا بدأنا هذه الفقرة من منطلق أننا لا يمكن أن نعرِّف إلا ما نستطيع قياسه . وبما أننا لا نستطيع أن نقيس معاً كلا الموضع والاندفاع لأي شيء في العالم بدقة تامة ، فإن مفهومي « الموضع » و« الاندفاع » نفسيهما يكونان موضع شك . فكيف يمكن إذن إعطاء أي معنى لهذين المفهومين ؟ إن

الإنعراج يجعل صورة الإلكترونات ضبابية.



هايزنبرغ يُصر على أن مفهوم « المسار » أيضاً يمكن إدخاله في الفيزياء الكمومية لأن هذا المفهوم يتطلب أن نعرف « الموضع » و « الاندفاع » في وقت واحد . وقد كان عرضه هذا استفزازياً جداً . وقد قال : « إن المسار لا يأتي إلى الوجود إلا حين نرصده » .

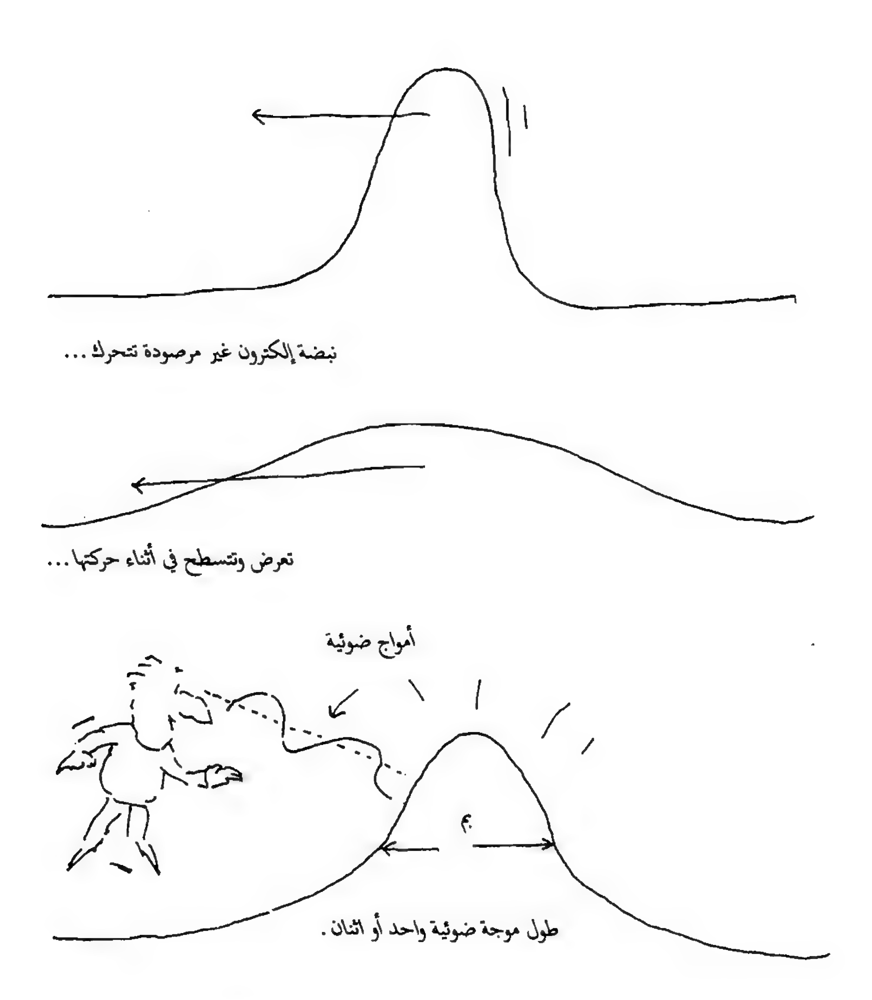
لكي نفهم مقولة هايزنبرغ دعنا نلقِ نظرة أخرى على نموذج بور الذري . ففيه يتصرف الإلكترون تصرفاً قريباً من الأسلوب التقليدي إذا كان في مدار ذي عدد كمومي كبير ، 10000 مثلاً . إن هذا المدار كبير بما يكفي لرؤيته بالضوء العادي ، لأن قطره يبلغ قرابة سنتيمتر . لكن مبدأ التطابق يخبرنا أن من الصعب جداً أن نرى أي فرق بين المدار رقم 10050 والمدار رقم 10000 ؛ فهذان المداران متجاوران جداً لدرجة تحول دون التميز بينهما لدى إنارتهما بالضوء العادي . أي أننا إذا أنرنا الذرة بالضوء العادي عندما يكون الإلكترون في مدار كبير لا نستطيع أن نتأكد أي مدار نشاهد .

هل الإلكترون في مدار محدد ؟ أي ، بتعبير آخر ، هل يحتل الإلكترون نقطة محددة من الفضاء في لحظة محددة ، وهل يسلك مساراً أملس واستمرارياً نحو النقطة المستقبلية من مساره ؟ إننا في أرصادنا عاجزون عن تعيين المسار الفعلي للإلكترون . ولكن هل يحق لنا أن نقبل أن للإلكترون مساراً من هذا القبيل ؟ من المؤكد أننا نعرف عن الإلكترون بعد رصده معلومات أكثر مما نعرف قبل أن نرصده .

ولكن كيف نحصل على هذه المعرفة ؟ إن موجة شرودنغر تصف ، بموجب تفسير بورن ، معرفتنا بالإلكترون ، لا أوصاف الإلكترون . أي ، بتعبير آخر ، أن شكل الموجة وحجمها يخبراننا أين يُحتمل أن نشاهد الإلكترون . ولكن بعد أن نشاهد الإلكترون فعلاً نكتسب عنه معرفة أكثر من ذي قبل ، ولا بد أن تكون الموجة قد تغير شكلها وحجمها كي تنسجم مع تغير معرفتنا . ولكن ما الذي يسبب هذا التغير في موجة شرودنغر وكيف ؟

إذا تصورنا أننا لا نقوم بأية محاولة لرصد الإلكترون فإن النبضة الموجية التي تتألف من تلك الموجات الشرودنغرية ، التي تُرضي معادلة شرودنغر ، تثابر على توسعها (امتطاطها) . إنها في الحقيقة تثابر على التوسع دون توقف ، وفي أثناء ذلك تضيع معلومات عن موضع الإلكترون . ورغم أن الضوء الذي نستعمله لا يشكل وسيلة دقيقة لتعيين موضع الإلكترون ، فإن إشعال عود ثقاب أفضل من أن نلعن الظلام .

وبمجرد أن نرى الضوء المرتد عن الإلكترون نكتسب عن موضعه الفعلي فكرة أحسن بكثير . ويصاحب تعيينَ هذا الموضع تغيرٌ في حجم نبضة شرودنغر التي تصف الإلكترون . وبموجب تفسير بورن يكون حجم النبضة قياساً لمعرفتنا بموضع الإلكترون . وبما أن لدينا الآن معرفة أفضل عن موضع الإلكترون فلا بد أن تكون نبضة شرودنغر ، التي تصف الإلكترون ، قد تضيقت من جراء اكتساب هذه المعرفة . وهذا يعني أن تلك النبضة قد تضيقت حتماً بفعل عملية الرصد . لقد كان من واجبها أن تتضيق لأنها أعطتنا مع الضوء معرفة تفوق ما كنا نعلمه عن الإلكترون قبل أن نرصده . فنستطيع ، مثلاً ، أن نرى أن الإلكترون موجود في الجهة اليمنى من الشاشة الراصدة لا في الجهة اليسرى . فعملية الرصد قد قلَّصت النبضة ، بطريقة ما ، إلى حجم أصغر .



نبضة إلكترون غير مرصودة تتحرك ...

تعرض وتتسطح في أثناء حركتها ...

إلى أن يراها الراصد . وعندئذ تتقلص .

إن هذا التقلص في عرض النبضة ليس جزءاً من التوصيف الرياضي للإلكترون ، أي أننا لا نستفيد من معادلة شرودنغر الموجية في الاستعلام الدقيق عن الموضع الذي سنجد فيه الإلكترون حين نرصده . إنها تخبرنا فقط عن النبضة حين لا تُرصد ، تخبرنا أين يُحتمل أن يُشاهَد الإلكترون . ومن جراء رصد الإلكترون تعاني النبضة تغيراً قفزياً تجلبه عملية رصدنا .

إذا كان طول موجة الضوء المستعمل في الرصد كبيراً فإن النبضة لا تتضيق كثيراً . وفي حالة عدم الرصد لا يزداد عرض النبضة العريضة بشكل كبير ومفاجىء . ويكون ضياع المعلومات عن موضع الالكترون غير كبير جداً .

في الصناعة الإلكترونية اليوم تُستخدم الإلكترونات لأغراض شتى . والمهندسون يتحكمون بالإلكترونات جيداً لأنهم يتعاملون مع نبضات إلكترونية عريضة جداً . ونعني بذلك ، طبعاً ، أنها « عريضة » في السلّم الذري . وهذه النبضات العريضة بالنسبة لحجم الذرة قابلة للتعيين في سلّم صناعي كبير . فالالكترونات تُستخدم ، مثلاً ، ضمن كاتود (مهبط) كبير في أنابيب شاشة التلفزيون . والنبضة الموجية التي تصف الإلكترون يجب عليها أن تقطع طول الأنبوب إلى الشاشة في زمن يساوي قرابة عشرة أجزاء من مليار من الثانية . وهذه مدة قصيرة بما يكفي للحيلولة دون توسع النبضة الإلكترونية توسعاً أكبر من اللازم ، خصوصاً وأن النبضة لا يزيد عرضها في البدء عن بضعة أجزاء من ألف من السنتيمتر . وهذه القيمة المحسوسة أكبر بملايين المرات من أبعاد الذرة . فاستخدام المجاهر الإلكترونية لا يعتمد على الجانب الموجي للإلكترون ، بل على قابليته لأن يكون جسيماً لفترات زمنية قصيرة جداً وعلى عدم المبالغة في اعطاء النبضة الموجية للإلكترون عرضاً أكبر من اللازم في بدء صدورها .

إن هذه الاحتياطات العملية تجعل الإلكترون يتصرف كجسيم صلب . وأمثال هذه الظروف العملية تجعل الأشياء الأخرى المحسوسة على الصعيد البشري « عادية » . ومدة التوسع (أي الزمن اللازم كي تبلغ النبضة ضعفي عرضها) تتعلق أيضاً بكتلة الشيء المرصود . فالأجسام التي كتلتها من رتبة الغرامات تتطلب ، بسبب ثقلها النسبي الكبير ، مدة شبه أبدية لأي توسع مهما صَغُر ، حتى ولو كانت نبضاتها لا تزيد في البدء عن واحد من مليون من السنتيمتر . لكننا لا نهتم هنا بالنبضات « الثقيلة » العريضة لهذا الحد . فماذا بشأن النبضات « الخفيفة » الضيقة ؟ هنا تستوفي الفيزياء الكمومية ضريبتها ، فتتوسع النبضة بسرعة .

عندما نتعامل مع الإلكترونات والذرات يجب أن نأخذ في الحسبان أشياء من قبيل مدة التوسع . وعندما تفرض هذه المدة نفسها علينا ، وفي هذه الحالة فقط ، تتزعزع الصورة التي نعرفها عن مجريات الأمور . لأن الهزال الذي يطرأ على النبضة الثقيلة السمينة ضرورة في أية عملية رصد . ولئن كان بالإمكان تجاهل هذا الطارئ الغامض في النبضات الثقيلة السمينة ، إلا أنه حيوي جداً في النبضات التي تبدأ خفيفة الوزن ضيقة . ومفهوم أنني أتكلم عن نبضات تمثل جسيمات خفيفة الكتلة ولا تحتل سوى مواضع محدودة . فمع هذه الأشياء تضيع المعلومات بسرعة كبيرة . ومعادلة شرودنغر هي الأداة الرياضية الوحيدة التي نملكها لملاحقة أشياء من هذا القبيل . لكنها لا تعمل بشكل جيد ، إنها تخبرنا فقط عن كيفية ضياع المعلومات . لكننا بمجرد أن ننجز عملية الرصد نسترد بعضاً مما فقدناه . وعملية الاسترداد هذه عملية تقطعية (قفزية) .

إذا تمسكنا بعقيدة أن العالم مصنوع من أشياء صغيرة لهذه الدرجة ، يكون من شأنه أن لا يأتي إلى الوجود إلا حين نرصده . لكننا ندفع ثمناً لإجراءاتنا الرصدية . وكل إجراء ينطوي على حل وسط ، على اتفاق تسوية . فالحصول على يقين متزايد بالقيمة المقيسة لموضع الإلكترون يؤدي إلى تناقص اليقين بالقيمة المقيسة لاندفاعه ، والعكس بالعكس . هذا وإن تفسير بورن الاحتمالي هو قياس لضعف يقيننا (أو لشدة ارتيابنا) في هذا الصدد .

إن هذا الارتياب لا علاقة له بالخطأ التجريبي الذي يرتكبه المرء في محاولة قياس الكميات التقليدية للموضع والاندفاع ، بل إن هذا الارتياب لا بد أن يوجد في كل قياس . ومن المستحيل ، والحالة هذه ، أن نتوقع أو أن نعين مستقبل الكائنات الذرية . إن هذا ما يعرف باسم مبدأ هايزنبرغ الارتيابي ، Heisenberg primciple of uncertainty أو مبدأ اللا حتمية Indeterminism . وهو ذو شأن ضئيل في دنيا المحسوسات ، لأنها نادراً ما تأبه بالتشويشات الناجمة عن عمليات الرصد . لكن مبدأ الارتياب شيء خطير عندما يتدخل في شؤون الإلكترونات . لقد كان بالفعل شيئاً خطيراً لدرجة أن جعل الوجود نفسه ، وجود الإلكترون ، موضع شك .

وقد تبين بعد ذلك أن مبدأ الارتياب ينطبق على أي زوجين من عمليات الرصد ، شرط أن لا يؤدي هذان الزوجان إلى النتيجة نفسها عندما نعكس ترتيب تنفيذ العمليتين . وهذا الكلام ينسحب مثلاً على طاقة الجسيم الذري والمدة التي نبغي أثناءها قياس هذه الطاقة .

وهكذا يمكن أن نتوقع أن مبدأ الارتياب كان هزيمة ساحقة للاستمراريين . لقد كان نذير نهاية النماذج الميكانيكية . إذ كيف يمكن أن يوجد عالَم ميكانيكي ، في الخارج هناك ، إذا كان العالم يتغير كلما عدّلنا طريقة رصده ؟ فنحن إذا أجرينا في الأول تعيين موضع الالكترون ثم أجرينا بعدئذ تعيين سرعة حركته ، نحصل على نتيجة تختلف كلياً عن نتيجة تعيين السرعة أولاً ثم الموضع ثانياً . فكيف يمكن لعالم ميكانيكي أن يكون ذا أساس غير حتمي ؟

إن الجواب عن هذه الأسئلة يستدعي أن نتبين بأوضح شكل ممكن نتائج هذه المقولات . وهذا يعني أن جدلاً سيحتدم عما قريب . لقد كان من شأن هذا الجدل أن يغيِّر وجه الفيزياء برمته .

الفصل السابع

مقاومة الارتياب

لا قانون سوى
لا يوجد أي قانون

John A. Wheeler

يمكن أن نفسر مبدأ هايزنبرغ الارتيابي بمقولة أخرى : الرصد تشويش . كان المظنون ، قبل عصر هايزنبرغ ، أن العالم « الخارجي هناك » ذو وجود مستقل تماماً عن الراصد الذي يقيسه . إن كون العالم متعلقاً بالراصد الذي يقيسه مقولة مقلقة على الصعيدين : الفيزيائي والفكري . لقد عادت الفيزياء بعد ألفي عام لتواجه مسألة الخيار بين أحد أمرين ، تلك المسألة التي شغلت قدماء الإغريق . إنها قصة زينون والسهم القديمة . كيف يتحرك السهم ؟ بشكل استمراري ، هكذا يقول الاستمراريون ، ودون مساعدة من الراصد . بل بشكل تقطعي ، هكذا يقول التقطعيون ، بمساعدة قليلة من الراصد لا غنى عنها .

كان من شأن دور الراصد أن جمع ، في تشرين الأول / اكتوبر ١٩٢٧ ، أكثر من ثلاثين من مشاهير الفيزيائيين ، تمت دعوتهم كلهم إلى مؤتمر سُلفي solvay الخامس (سُمِّي هذا المؤتمر باسم رجل الصناعة البلجيكي إرنست سلفي الذي رعاه وتحمل تكاليفه المالية الكبيرة) . كانت المؤتمرات الأربعة الأولى قد تناولت أيضاً ميكانيك الكم الجديد ، لكن هذا الخامس كان يَعِدُ بأن يكون مؤتمر المكاشفة والحسم . لكنه ما لبث أن صار نقطة البداية لأغرب جدل احتدم في تاريخ محاولة فهم العالم . كان نيلز بور يتزعم جانب التقطعيين ، ويتزعم ألبرت أينشتاين جانب الاستمراريين . وكان في المعمعة أيضاً بورن ودوبروي وهايزنبرغ وبلانك وشرودنغر . كان الجميع يتطلعون إلى أعلى مستوى في مناقشة واحدة من أهم مسائل العصر : مغزى النظرية الكمومية الجديد .

كان لوي دوبروي أول من دخل في الميدان ، فقدم حججه لصالح حقيقة الموجة المادية . صحيح أنها موجة احتمال ، لكنها أيضاً موجة موجِّهة تعيِّن المسار الحقيقي للجسيم في رحلته عبر الفضاء والزمن ، فتعالت أصوات الاستنكار . ورفض الأفكار سهل عموماً في جو من هذا القبيل ، فما على الرافض سوى أن يتجنب مناقشة الفكرة . وقد تخلى دوبروي عن نظرية « الموجة الموجهة » بعد عام من هذا المؤتمر ، وكان ذلك في نهاية عام ١٩٢٨ حين تسلم منصبه في كلية العلوم بباريس ولم يجد مبرراً لتعليمها في دروسه .


أعضاء مؤتمر سلفي الخامس، ١٩٢٧.



وبعد دوبروي قدم بورن وهايزنبرغ ورقتهما حول التفسير الاحتمالي لموجة شرودنغر . وهنا أيضاً تعالت أصوات الاستنكار . وتلاهما شرودنغر ليقدم ميكانيكه الموجي في حال منظومة تتألف من عدة أجسام تتفاعل فيما بينها . بلغ الاجتماع أوجه في مناظرة عامة ؛ كانت المباريات التمهيدية قد هدأت وتقدم بطل الحلبة هندريك لورنتز ليعلن عن استنكاره لرفض الحتمية من قبل أغلبية المتحدثين .

وهنا جاء دور المتباري الرئيسي ، فدُعي بور للحديث . فعرض آخر أفكاره عن المثنوية موجة / جسيم في بدء حديثه . كان واضحاً أن كلماته كانت موجهة إلى أذني رجل واحد . لم يكن أينشتاين قد سمع من قبل بأفكار بور الجديدة بخصوص تلك المثنوية ، موجة / جسيم ، هذه الفكرة التي دعاها بور باسم **التتامية** complementarity ، حتى أنه لم يُسهم في أي من المناظرات التمهيدية ، وحتى أنه ظل صامتاً كأبي الهول بعد أن انتهى بور من حديثه .

ثم عاد آخرون إلى الكلام . فطلب بور من مجموعة الحاضرين أن يتفكروا في مسألة التوفيق بين الخاصية الجسيمية للمادة وخاصيتها الموجية ، واستشهد بمثال هايزنبرغ في رصد إلكترون في الذرة ، أي تلك النبضة الموجية التي تتضيق فور أن « يُرى » الإلكترون لتنتظم من جديد في أبعاد الأطوال الموجية للضوء الذي ينير الإلكترون ، وكلما ازداد طول موجة الضوء المستعمل ضَعُف مفعول هذا الضوء على الإلكترون الدوار ، وعندئذ لا يكون موضع الإلكترون محدداً تماماً ، لأن نبضة شرودنغر تصبح طويلة بما يكفي لاستيعاب عدة مدارات إلكترونية متاحة . كانت الصورة متماسكة بعض الشيء : إن موضع الجسيم تحدده عملية الرصد .

ولكن كيف يحدث ذلك ؟ إن من شأن النبضة ، بموجب معادلة شرودنغر ، أن تتوسع حتى بعد أن يتفاعل الضوء معها . ومعادلة شرودنغر لا تعطي أوصاف ما نراه عندما نرسل الضوء على مدار الإلكترون . إنها تخبرنا فقط عن احتمال مشاهدة الإلكترون . والتجربة العملية تحدد موضع الإلكترون بمقدار ما تستطيع أطوال الضوء الموجية أن تفعل . أي ، بتعبير آخر ، أن معادلة شرودنغر لا تصف الواقع . بل تصف احتماله فقط .

والسؤال الذي ينطرح الآن هو : كيف تلتمّ الموجات المتوسعة حين تحدث عملية الرصد ؟ تُدعى هذه الظاهرة **تقلص** collapse **التابع الموجي** . وهذا التقلص غير موجود ضمن التشكيل الرياضي لميكانيك الكم ، لكنه يجب أن يحدث إذا كان التوصيف الموجي يمثل الحقيقة . وقد حاول عدة فيزيائيين من الحاضرين تبرير التقلص ، وعرض أحدهم شرحاً بديلاً في فضاء عديد الأبعاد لا يحدث فيه ذلك التقلص . لكن « ذلك لا يجدي كثيراً جداً بخصوص المسالة الأساسية » كما يرى بورن .

هنا خرج أينشتاين عن صمته ونهض من مقعده ليتوجه إلى الحضور قائلاً : « عليَّ أن أعتذر عن عدم تعمقي في ميكانيك الكم . لكنني أود أن أبدي بعض ملاحظات عامة » . كانت البذور التي قُدِّر لها أن تنمو قد زُرعت قبل ذلك بسبعة أعوام ، في ربيع عام ١٩٢٠ . واليوم بدأت المناظرة رسمياً . كان أينشتاين واضحاً حيث كان بور غامضاً . طلب أينشتاين من الحاضرين أن يتفكروا في تجربة هي الأولى في

سلسلة ما سمّي فيما بعد « التجارب الذهنية » . كانت تجربة ذهنية بسيطة طلب فيها من الحضور أن يتخيلوا جسماً يمر عبر شق ضيق جداً . عندئذ يجب على الموجة المواكبة للجسيم أن تنعرج ، وأن تتوسع كمويجة ناجمة عن رمي حصاة في بحيرة . وخلف الشق شاشة حساسة لها شكل نصف كرة . إن نصف الكرة هذا سوف يعمل ككاشف للجسيم ، لأن الجسيم لا بد أن يصل إلى مكان ما من الشاشة بعد أن يمر عبر الشق . ووصول الجسيم حادثٌ احتمال وقوعه في أية نقطة من الشاشة يتعلق بشدة الموجة في تلك النقطة .

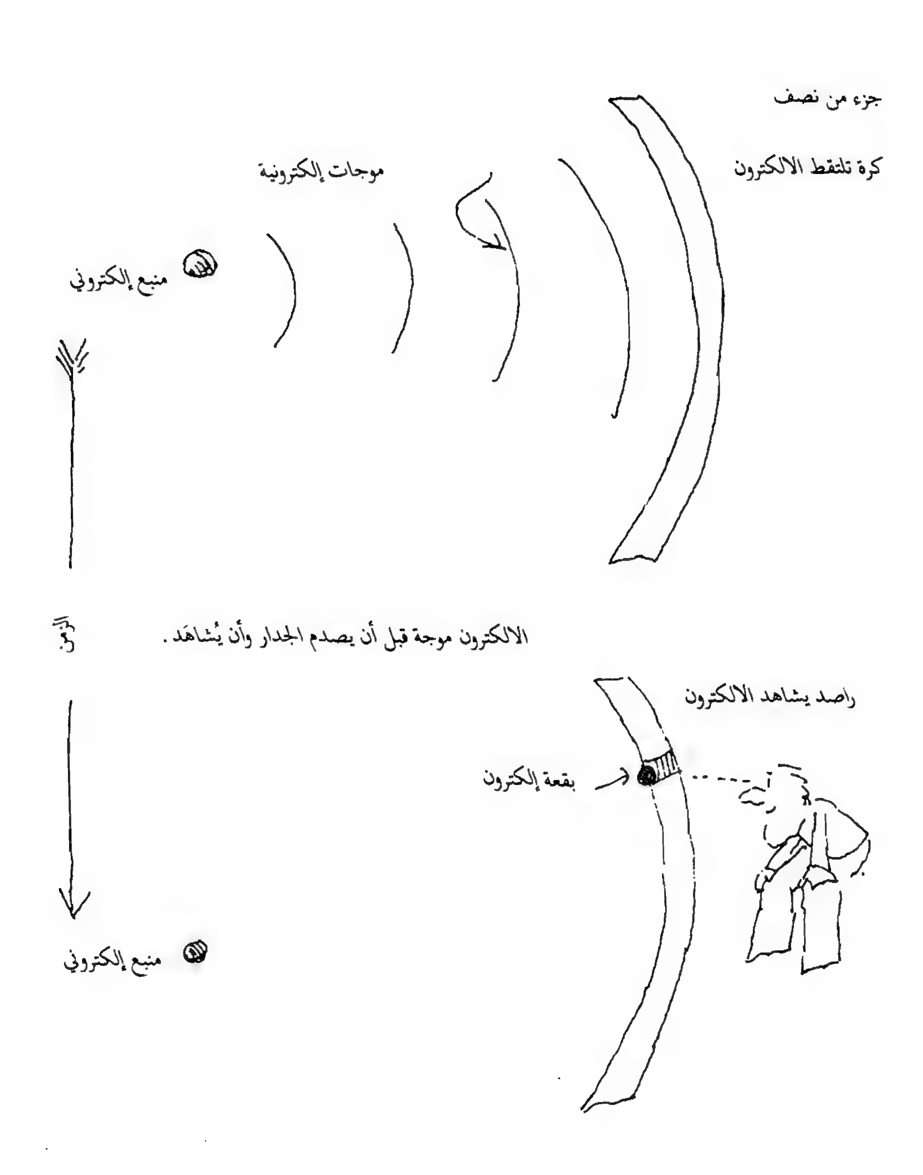
وافق الجميع على هذه المقولات ، حتى بور . واستمر أينشتاين قائلاً بأن هناك وجهتي نظر مختلفتين بخصوص ما يحدث فعلاً . إن الموجة ، في وجهة النظر الأولى ، لا تمثل جسيماً فرداً معزولاً ، بل بالأحرى مجموعة جسيمات موزعة كلها في الفضاء . وشدة الموجة تتعلق بتفسيرنا المعتاد لعدد من الأحداث المتماثلة : إنها توزع احتمالي لا يزيد مغزاه عن مغزى جدول إحصاء يعطي توزع العمر أو الجنس بين الدول أو المدن . فإذا كان هذا صحيحاً ، عندئذ تكون الموجة معبرة عن جهلنا بحقيقة الأمور ، لا غير ، وتكون المادة شيئاً يتصرف بشكل سببي ويتحرك على هذا الأساس في المكان والزمان . لكن هناك وجهة نظر ممكنة أخرى .

تقول وجهة النظر الثانية بأننا لا نجهل شيئاً ، وبأن ميكانيك الكم كامل في توصيفه للأحداث الفردية . الجسيم موجة تذهب نحو الشاشة . عندئذ ، وهنا اعتراض أينشتاين ، يكون الجسيم حاضراً بشكل كامن في كل نقطة من الشاشة ، وباحتمال شبه متساو أن يظهر في أي موقع منها . لكنه يتوضع مع ذلك في موقع ما ويقرع فجأة نقطة مفردة دون سواها . ويتابع أينشتاين قائلاً :

> يبدو لي أن هذه الصعوبة لا يمكن التغلب عليها إلا إذ أُضيف إلى توصيف العملية ، في التفسير الموجي (موجة شرودنغر) ، شيء من التدقيق المفصل في أسلوب توضع الجسيم ...[إن وجهة النظر الثانية] تتعارض مع مبدأ النسبية .

كان تقلص الموجة هو الذي يزعج أينشتاين أكثر من أي شيء آخر . كان يتصور أن الموجة تقرع الشاشة كما تلطم موجة البحر الشاطىء . وفي وجهة النظر الثانية ينشأ نوع خاص من الفعل عن بعد يمنع الموجة من أن تضرب الشاطىء في نقطتين أو أكثر في آن واحد . وبنتيجة ذلك تتقلص الموجة كما ينحشر جني في قارورة وتلقي بنفسها على نقطة واحدة من خط الشاطىء . ولغرابة هذه الصورة كان أينشتاين يفضّل وجهة النظر الأولى . كان الفرق بين وجهتي النظر هو النقطة الحساسة التي عليها يرتكز توازن الحقيقة الحرج . ورغم أنه ليس له انعكاسات تجريبية ، إلا أنه ذو آثار عميقة الغور . فالنظرة الأولى توحي بوجود عوامل ميكانيكية مستحكمة تسمى **المتغيرات الخفية** hidden variables . أما النظرة الثانية فتنكر أي شيء إضافي يقال . إنها تستبعد أية حاجة لمثل هذه العوامل .

إن هاتين النظرتين ، رغم ورودهما في تعابير ميكانيك الكم الحديث ، ليستا أكثر من تعبير جديد عن الخلاف فيما بين قدماء الإغريق بخصوص الاستمرارية والكلية wholeness في مقابل التقطعية والكلية . فالاستمراريون يقولون بأن الكل هو مجموع أجزائه وأن كل تقطع ظاهري يمكن أن يُشرح بحركة استمرارية ، بمرور رياضي أملس من نقطة إلى تلك التي تليها . وهنا يتفق أينشتاين مع أرسطو . إنهما يعتنقان



الالكترون موجة قبل أن يصدم الجدار وأن يُشاهَد.

الإلكترون جسم بعد أن يصدم الجدار وأن يُشاهَد.

تجربة أينشتاين الذهنية.

مبدأ السببية والاستمرارية والعالم الحتمي .

أما وجهة النظر الثانية ، التي يعتنقها بور متفقاً مع زينون ، فتنكر هذه الآراء . إنها لا ترى حاجة لتبرير تقلص الموجة . والموجة ليست كل الحقيقة . والجسيم أيضاً ليس كل الحقيقة . إن الحقيقة ليست الحقيقة المطلقة . بل يوجد ، بدلاً من ذلك كله ، تتامية تتخذ مظهر المفارقة بمجرد أن نحاول بالرصد تحليلها . فنحن لا نملك سوى أن نشوش العالم عندما نسعى إلى فصل الأشياء بعضاً عن بعض . إن الموجة ، في رأي بور ، لا تتقلص إذا لم نرصدها ، وبذلك لا يُرى أي تقلص . كان يرى التحليل كالرصد ، وأن الرصد حدث تقطعي في الأساس . وأنه لا يمكن ربطه بأي حدث ماض . إن الارتباط بالماضي ليس حقيقة .

هذا ورغم أن رأي بور كان غامضاً ويصعب اعتناقه ، إلا أنه أصبح اليوم أساساً لما يسمى **تفسير كوبنهاغن لميكانيك الكم** . وهذا التفسير هو المقبول اليوم رسمياً ، رغم أنه يجعل من الحقيقة شيئاً أغرب مما نستطيع أن نتصور . إن أذهاننا مليئة بالذكريات ممزوجةً بالرغبة في اليقين . ونحن ، على هذا الأساس ، لدينا رغبة طبيعية مسبقة تحب الاستمرارية في كل شيء . لكن مبدأ الارتياب ينكر علينا كل ذلك . إن العمليات الفيزيائية كلها تتعارض مع مضامين النماذج الميكانيكية .

لكن هذا لا يعني وجوب أن نرمي كل آلاتنا في سلة المهملات . بل إن العكس هو الصحيح . فنماذجنا الميكانيكية تعمل بشكل رائع في حال أجسام كبيرة ، وذلك بسبب صغر ثابتة بلانك . إن صغر h هبة من الله . لكن يجب أن لا ننسى أننا الممثلون في مسرحية العالم . ولو كانت h أكبر من ذلك بعض الشيء لسادت الفوضى في كل شؤوننا . لكننا ، بوحدة فعل h على هذه الدرجة من الصغر ، نملك بالضبط المقدار اللازم من الحرية في عمل كل شيء نريد تقريباً . أما ما هي حدودنا بالضبط فهي مسألة ما تزال قيد البحث .

إن الأشياء ليست سوى توصيف تقريبي للحقيقة . وحدود توصيفنا مكشوفة في مبدأ الارتياب . وقد دعا بور فلسفته باسم **مبدأ التتامية** . إن المثنوية موجة / جسيم والصور المنبثقة عنها ، كتقلص الموجة وقفز الجسيم ، كانت نتيجة للتعارض بين بناءين ذهنيين متباينين لمظهر الحقيقة .

إن آراء بور التتامية تحتاج إلى مزيد من الشرح . وسنفعل ذلك في الفصل الثامن . لكن أينشتاين لم يؤمن بها . بل إنه ، على العكس من ذلك ، كان يعتنق فكرة عالم مرتب . لقد قال بأن الله لا يلعب بالنزد .

وفي السنين الأخيرة من حياته كان محامي الشيطان ضد أفكار بور ذات الأساس التقطعي . لقد طرحت آراء بور نظرة جديدة بخصوص هذا العالم . ثم عمم فكرة التتامية على علوم الحياة . وقد شعر بعدم وجود تناقض حقيقي بين معلومات البشر والعلوم الطبيعية . وليس الاختلاف بينهما سوى شكل معقد من أشكال المثنوية موجة / جسيم . ففي علم الأجناس البشرية ، مثلاً ، يوجد أسلوبان في السلوك : السلوك الذي تحكمه الغريزة والسلوك الذي يحكمه العقل . أما الغريزة فيمكن اعتبارها تقطعاً مفاجئاً ليس له



الجدل بين بور وأينشتاين : كان يشبه حواراً بين نصفي عقل الكون ، الأيمن والأيسر .

تاريخ . لكن العقل يعمل على أساس من المنطق والاستمرارية . وعلى الراصد الذي يريد دراسة تربية النباتات البدائية أن ينتبه إلى الاضطرابات التي يُحدثها في تلك المزروعات عندما يسعى إلى استخراج « أسباب » هذه المزروعات .

وفي الفصول المتبقية سنبين ، بتفصيل أكثر ، الفروق بين وجهتي نظر بور وأينشتاين . إن المقاومة التي يبديها كل فريق ضد الآخر تنبثق بمعظمها عن تفكير جديد . وقد ترتب على رجال العلم أن يبحثوا عن التوازيات بين عدة سبل حياتية كان يُظن في السابق أنها متخالفة . لكن الجدل بين بور وأينشتاين لم يزل مستمراً ، رغم أن الاثنين ميتان الآن . إن المعركة بين الاستمرارية والتقطعية قد لا تنتهي أبداً .


إنني لاأرى إلاالحقيقة التـــي تنشأ من رصدي لها. إنها لم تكن موجودة قبل أن أشاهدها.
بور

القسم الثالث

هل يوجد شيء « خارجي هناك » في الخارج هناك ؟





الفصل الثامن

متتامتا البيت الكوني

هل أناقض نفسي ؟

حسناً ، إنني أناقض نفسي ،

فأنا كبير ، فيَّ أشياء كثيرة (*) .

Walt Whitman

(*) وتحسب أنك جرم صغير وفيك انطوى العالم الأكبر

أبو العلاء المعري (المترجم)

فعل الخلق : الرصد

ماذا نعني عندما نتكلم عن « الحقيقة reality » ؟ نعني عادة العالم الذي نُحسه ، ذلك العالم الخارجي عنا المصنوع من أشياء يمكن أن نراها أو نسمعها أو نتذوقها أو نشمها أو نلمسها ــ الأشياء المحسوسة ، الحقيقية ، الوطيدة في حياتنا اليومية . إننا نؤمن بأن هذه الأشياء موجودة حتماً بشكلها المحسوس نفسه ، حتى لو لم نكن موجودين كي نشاهدها ، وبأن مشاهداتنا لا تعدو التأكد من حقيقة موجودة سلفاً . لكن هذا ليس مما يخبرنا به ميكانيك الكم على ما يبدو . بل هو يدل على انحراف جذري عما يمكن أن نسميه إرثنا الميكانيكي الذي ورثناه . ومن المؤكد أن هذا الانحراف هو الذي دُعي فيما بعد مدرسة كوبنهاغن أو مبدأ بور التتامي . فأنصار هذا المذهب يرون أن الحقيقة لا تكون حقيقة إلا عندما يُحسُّ بها . فإحساساتنا بالحقيقة تظهر ، من خلال هذا الرأي ، متناقضة نوعاً ما ، ذات سمات مثنوية ومفارقات غريبة . ولئن كان الإحساس الفوري بحقيقة «الآن » الحاضر شيء لا مفارقة فيه ، إلا أننا عندما نسعى ، كراصدين ، إلى صنع سجل تأريخي لإحساساتنا تظهر الحقيقة شيئاً عجيباً .

إن سبب ظهور المفارقات في مفهوم الحقيقة ــ الحقيقة الذرية كما يرصدها الفيزيائيون على الأقل ــ هو عدم وجود خط حدود واضح يفصل بيننا وبين الحقيقة التي نرصد وجودها في خارج أنفسنا . إن الحقيقة تتعلق باختيارنا لما نريد رصده وبكيفية رصده . وهذه الاختيارات بدورها تتعلق بعقولنا أو ، بتدقيق أكثر ، بمحتوى أفكارنا . وأفكارنا ، بدورها ، تتعلق بتطلعاتنا ، برغبتنا في الاستمرارية .

أول اجتماع للفيزيائيين الجدد بعد إعلان بور عن مبدأ التتامية (كومو ، ١٩٢٧)



انريكو فرمي

فيرنر هايزنبرغ

ولفغانغ باولي

إن الموجة والجسيم ، كليهما ، توصيفان للطبيعة هما من مخلفات رغبتنا في الاستمرارية . إنهما يمثلان أحسن محاولاتنا لفهم الحقيقة الفيزيائية بوساطة الصور ، المصنوعات الميكانيكية للفكر المستند على الاستمرارية . ونحن ، عندما نرصد أي شيء في دنيا الذرة ، نمزق تلك الاستمرارية . ولهذا التمزيق نتيجتان : إنه يخلق ، أولاً ، في أذهاننا صورة عن شؤون الذرة ، ويدل ثانياً ، وفي الوقت نفسه ، على عدم تمام هذه الصورة . وعدم تمام هذه الصورة ناجم عن أفكارنا ، عن محاولاتنا للاحتفاظ بهذه الصورة عبر الزمن .

إنني أسمي هذه الأمور الناجمة عن الرصد باسم **بناء الحقيقة بالعمليات الذهنية** . إنها أفعال خلق . لكن كثيراً من الأشياء التي نرصدها **لا** تتأثر بعملية الرصد . فتأثير الرصد على الفيلة وكرات المضرب مهمل تماماً لأنها أشياء ضخمة تُرى بالضوء العادي . ومبدأ الارتياب هنا ذو شأن ضئيل جداً . فالموضع والاندفاع قابلان للرصد في آن واحد على صعيد كل الاعتبارات العملية . لكن يجب أن لا نظن آلياً أن أرصادنا ليست بذات شأن في هذا العالم حين نفحص الإلكترونات . وبما أن الإلكترونات موجودة في أجسادنا ، كما هي موجودة خارجها ، يمكن على الأقل أن نتفهم أن رصدنا لأنفسنا يلعب دوراً غير مهمل في تصرفاتنا البشرية الشخصية .

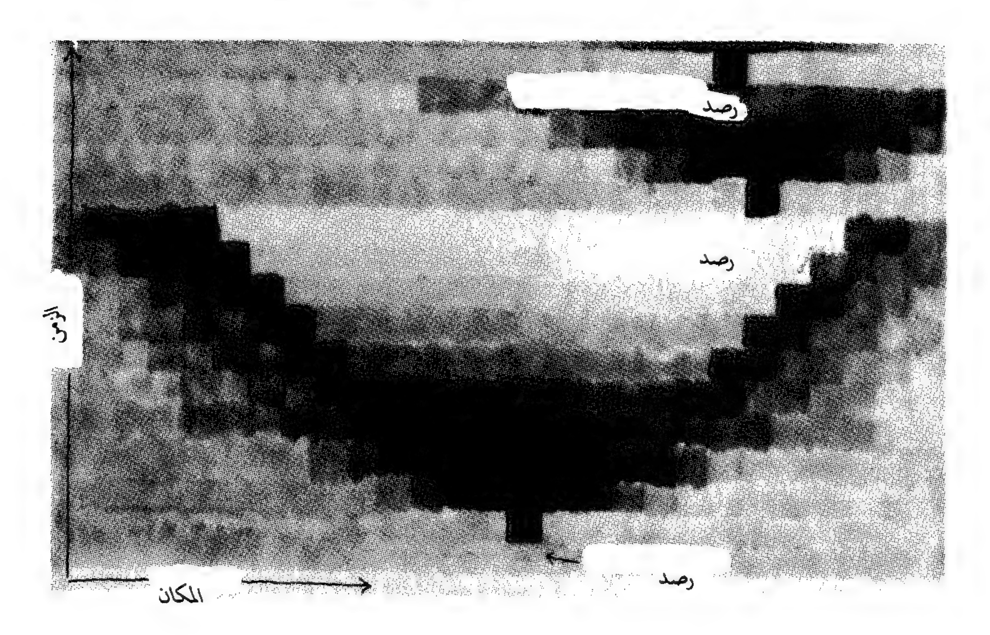
إن كل الأمثلة والتشبيهات ، التي أسوقها فيما يلي ، تنتمي إلى مجال الأرصاد الشائعة لدى معظمنا . لقد اخترت في هذه الأمثلة أشياء عادية شائعة . لكن يجب على القارىء أن يتذكر أن الأفكار والنتائج التي تخص سلوك هذه الأشياء سيجري عرضها من منظور ميكانيك الكم . إن الأشياء العادية تقع ضمن الحدود المأمونة لمبدأ بور في التطابق ، كما أن طريقة التفكير الميكانيكية التقليدية ملائمة تماماً لوصف حركة مثل هذه الأشياء .

ومع ذلك ، إذا اخترنا أن ننظر إلى كل شيء وأن نعمله في إطار الفيزياء الجديدة ، نستطيع أن نقول ، لحدٍ ما ، بأن بناء الحقيقة هو ما نفعله في كل آن من حياتنا الواعية . ونحن ننجز هذا البناء بعملية اختيار من بين إمكانيات بديلة عديدة تخطر على بالنا بشكل متواصل . وهكذا فإننا عندما نختار ، في السوية الكمومية للحقيقة ، أن « نرى » ما نرى تصبح الحقيقة مفارقة ومحسوسة في آن واحد . إن عمليات الرصد هي الأشياء التي نمارسها كعالم محسوس في حياتنا اليومية .

إن طريقة التفكير هذه في شؤون العالم جديدة على الفكر الغربي . وقد انبثقت حين اكتشف الفيزيائيون أن عملية رصد العالم الذري تُدخل مثنوية ، أو ازدواجية أو مفارقة ، في النظرة إلى الأحداث . وسوف نفحص كيف يتاح بالضبط لعملية الرصد أن تُدخل هذه المفارقة وأن تحلها في الوقت نفسه . وسوف نبدأ هذا الفحص بدراسة تشبيه أُسميه « مفارقة المكعب » . كان هذا التشبيه المشهور معروفاً قبل اليوم لدى الفنانَيْن فكتور فيسرلي Vaserely وموريتس إيشر Escher .

أفحص بعدئذ عقول الفيزيائيين في أثناء شرح « تجربة ذهنية » تلقي ضوءاً على مثنوية الحقيقة . هذه المثنوية ، التي اسميها « متتامتي البيت الكوني » ، ترينا أن كل المادة تتصرف بطريقتين متتامتين متناقضتين : إنها تظهر جسيمية ومتوضعة في الفضاء ، كما تظهر موجية وغير متوضعة في الفضاء . وتتعلق كيفية ظهورها

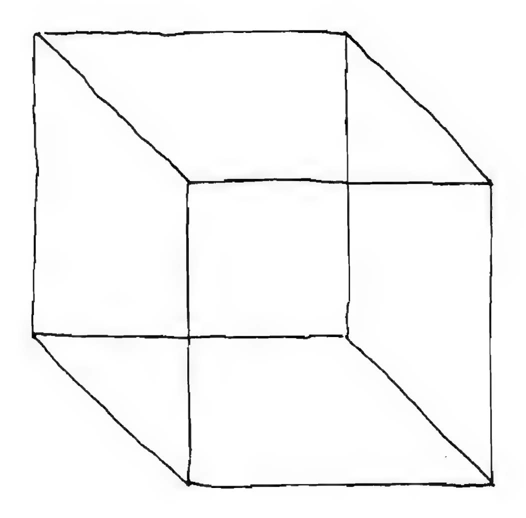
ثلاثة أفعال رصدية : جسيم يولَد ، ثم يولد ، ثم يولد .



باختياراتنا الذهنية ، إن الحقيقة « قضية » اختيار .

وبعد أن ندرك أن الحقيقة التي نمارسها هي تلك التي نختارها من أحد المظهرين المتنامين في هذه المثنوية ، نبحث عن الطريقة التي تجعلنا ضحية اختياراتنا . وسنفحص هذا الجانب بالتشابه مع « اختيار الساحر » . وسنرى من هذا التشبيه جانباً آخر من جوانب المفارقة : إن اختيارنا ، مهما كان نوعه ، سوف يظهر لنا ابن وقته ، أي ، بتعبير آخر ، أن الأمور تظهر لنا وكأننا لم نختر من قبلُ شيئاً قط . عندئذ سنعيد فحص عقول فيزيائيينا عندما نلقي نظرة أخرى على « تجربة ذهنية » وسنرى كيف يحدث أن تظهر دنيا الذرات وكأنها اختيرت قبل أن نهتم بها ، حتى ولو خُيِّل لنا أننا نحن الذين اخترناها . سوف أسمي ذلك «حالة الراصد المتلاشي » .

وسنلقي نظرة أخرى على ما يبدو عملية بناء سحرية للحقيقة اخترناها بأنفسنا ، وذلك عندما نفحص تشابهاً آخر هو «مفارقة نيو كمب Newcomb » . وسنعرض ، ربما للمرة الأولى ، حلاً كمومياً لمفارقة ممتعة ، مفارقة « الكينونة » في مواجهة الحقيقة الموضوعية . إن كل هذه الأمثلة المذكورة ستعيننا حتماً في فهم إمكانية أن يظهر العالم وكأنه دنيا من المتناقضات : فوضوية وغير معينة ، وفي الوقت نفسه منطقية ومرتبة ومعينة تماماً .



مفارقة المكعب

مفارقة المكعب

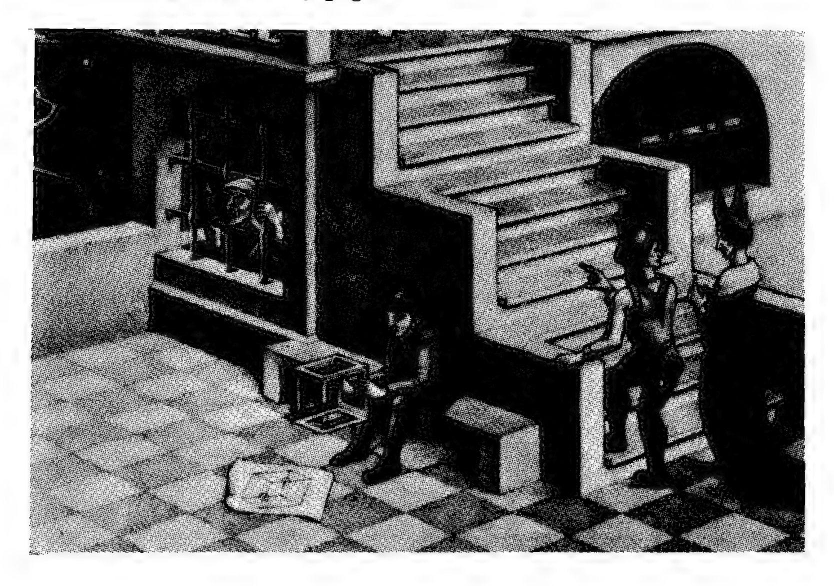
لقد اكتشف الفيزيائيون أن عالمنا تحكمه قوانين فيزياء الكم . والعالم ، بموجب هذه القوانين ، دنيا من المفارقات . إنه يبدو مؤلفاً من الوقائع وأضدادها في وقت واحد .

ومع ذلك لا يبدو أننا نلحظ هذه المفارقات ، فلماذا ؟ لأننا ، عندما نرصد شيئاً ما ، نرى الواقع أو ضده ، لكننا لا نرى أبداً الاثنين معاً . فبدون أفعالنا الرصدية يسرح العالم ويمرح على هواه ، ساحراً ومثنوياً ، ذاهباً آتياً بين الوقائع وأضدادها بلا هوادة . وهذه المواظبة ضرورية ، لأن العالم « الحقيقي » لا يمكن أن **يكون** بدونها . والراصد يتصرف في عمله كما فعل الاسكندر حين عالج عقدة غورديوس (*) : لقد اختار بكل بساطة أن يقطعها بسيفه متحدياً ، بدل أن يظل محبطاً أمامها .

كيف يحصل « فعل الرصد » ؟ تأمل في مفارقة المكعب . ما الوجه الذي يواجهك ؟ أولاً ، قد يكون في مواجهتك المربع العلوي إذا كنت تنظر إلى المكعب من الأعلى . لكنك إذا ألقيت نظرة ثانية فقد تجد أنك تتطلع فجأة إلى المكعب من الأعلى. فيظهر المربع الأسفل أقرب إليك . فأنت ، كالراصد ، لك الخيار في كيفية النظر إلى المكعب . فعملية رصدك هي التي تحل المفارقة . إن فيزياء الكم تقول بأن كل المفارقات التي تعتري عالَم الفيزياء تُحل بالرصد على هذه الشاكلة .

(*) عقدة تفنن في عقدها غورديوس ، ملك فريجيا ، بحيث لا يعرف أولها من آخرها . وقد زعموا أن لن يحلها إلا سيِّد آسيا المقبل . فجاء الاسكندر الكبير المقدوني وقطعها بسيفه . (المترجم)

تفاصيل من لوحة « بلفيدير » لموريتس إيشر .



لكن هناك طريقة أخرى لرؤية الحقيقة . انظر إلى المكعب المرسوم مرة أخرى . إن ظهور الرسم كمكعب وهم زائف . إنه ، في الواقع ، ثماني نقاط يصل بينها اثنا عشر خطاً تشكل نموذجاً تجريدياً . وأنت ، عندما ترى في هذا التجريد مكعباً ، تكون قد التزمت باختيار معين : اختيار الوجه الذي في المقدمة والوجه الذي في الخلف . لكنك إذا رأيت الرسم بشكل تجريدي يمتنع الخيار بين هذه البدائل .

في الشكل التجريدي للمكعب يكون الوجهان ، المتقدم والمتأخر ، في الرسم واقعين في الأمام معاً وفي الخلف معاً . لكنك عندما ترى في الرسم مكعباً تكون ، كراصد ، قد خلقت تجربة شكل في بعدين ، ذات وجهين : أمامي وخلفي . إن فعل رصدك يخلق الصورة في ذهنك أن « هذا » مكعب . إن رؤية « المكعب » في رسم تجريدي ذي ثماني نقاط يصل بينها اثنا عشر خطاً ، هي تتمة لرؤية « الرسم » مكعباً ذا وجه أمامي ووجه خلفي . إن هذا المكعب لا يصبح مفارقة إلا إذا أصررنا ، كراصدين متعودين على الظن بأن كل شيء نراه لا بد أن يكون مُجسَّماً ، على « أنه » مكعب مجسم . وعندئذ يظهر المكعب وقد « قفز » من منظور رؤيوي لآخر ، بخدعة يبدو أنها انطلت علينا .

لقد استغل الرسامان ، إيشر وفيسرلي ، عاداتنا المسبقة المتأصلة كي يواجهانا بمفارقات رؤيوية للحقيقة . ففي تفاصيل لوحة إيشر نلحظ رجلاً جالساً على مقعد وأمامه ، على أرض الغرفة المبلطة كرقعة الشطرنج ، رسم مكعب المفارقة على ورقة محنية قليلاً . ولكن انظر إلى « المكعب » الذي يمسكه الرجل . تأمل خصوصاً في الضلعين اللتين يمسكهما الرجل بيديه . إن مفارقة وضعيهما الغريبين في الفضاء تذهل عقله على شاكلة ما تفعل حقيقة المادة في عقل الفيزيائي الكمومي .

هذا ورغم أن مفارقة المكعب ليست سوى تشبيه بعالم الفيزياء الكمومية التجريدي ، فإنها تبيِّن أن في أفعـالنا الرصدية ازدواجية ، أو مثنوية . فمن خلال فيزياء الكم اكتشف الفيزيائيون ، كما في مفارقة المكعب ، أن العالم يمكن أن يُفهم أيضـاً بطريقتين متتامتين . وهذا الفهم هو الذي يعرف باسم **مبدأ التتامية** . وكلمة تتامية تعني مثنوية ، كالأحمر في مقابل الأخضر . ويذكرنا مبدأ التتامية بأننا حين نلحظ حمرة شيء ما تكون خضرته خفية علينا ، والعكس بالعكس . والشيء الذي هو أحمر وأخضر في الوقت نفسه يظهر رمادياً ، على سبيل المثال .

وعلى غرار ذلك ينطوي العالَم الفيزيائي على طبيعة تتامية معروفة باسم **المثنوية موجة / جسيم** . وفي الفقرة التالية نراقب عقل الفيزيائي في أثناء إجراء « تجربة ذهنية » . والتجارب الذهنية تجارب تخيلية نتيجتها معروفة سلفاً . إنها تُعالَج عادة قبل أية تجربة حقيقية . وفي « التجربة » التالية سيواجه الفيزيائي التتامية .

المثنوية موجة / جسيم ومبدأ التتامية

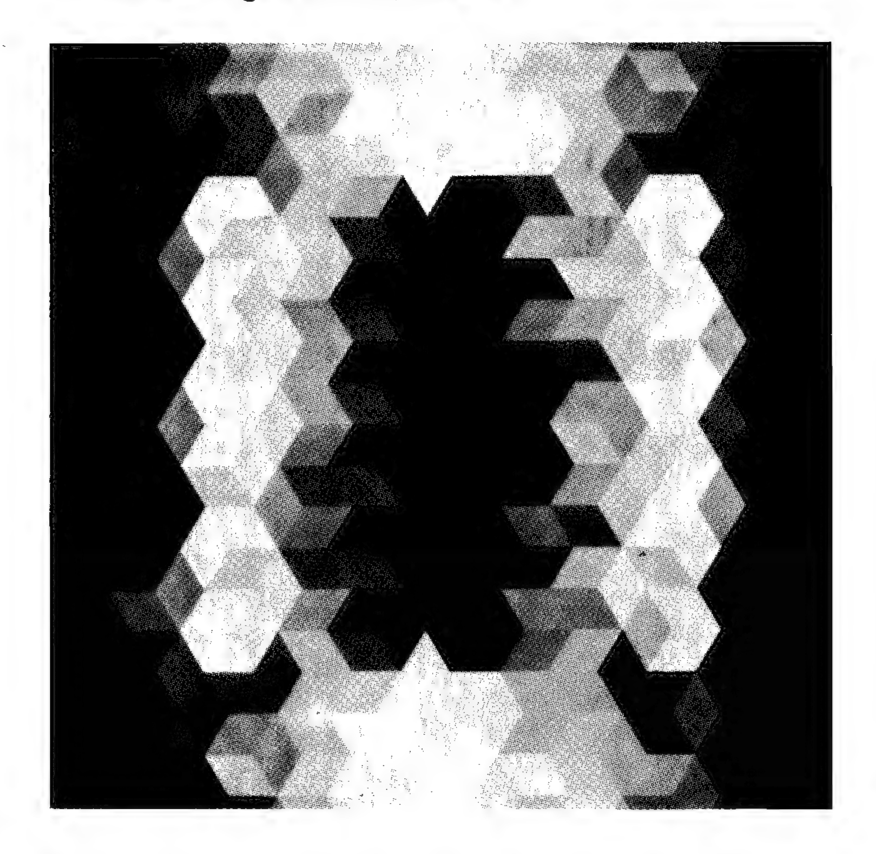
لقد اكتشف الفـيزيائيون أن عالمنـا الفيزيائي ، أو « البيت الكوني » ، يظهر كمفارقة المكعب : يوجد طريقتان مختلفتان في مشـاهدة العالم : يمكن أن نراه من خلال جسيماته ، أو يمكن أن نراه وكأنه مصنوع من أمواج . وهاتان الرؤيتان تتمم إحداهما الأخرى ، أي أننا لا نستطيع أن نشاهد المظهرين في وقت معاً . أُسمي هاتين الرؤيتين « متتامتي البيت الكوني » .

وأمام هذه المثنوية موجة / جسيم يميل بعض الفيزيائيين إلى إنكار السلوك الجسيمي للعالَم الفيزيائي وينتصرون للمظهر الموجي كتوصيف أفضل . لكن هذا التفضيل لم يحظ بالإجماع ، إذ يرى سواهم أن السلوك الجسيمي ذو بصمة مقنِّعة . لكن الانحياز إلى هذه البصمة المقنِّعة بأن العالم مصنوع من حشد من الجسيمات الصلبة يقود إلى مفارقة تشبه المفارقة التي يبديها « مكعبنا » ذاك .

ماذا نعني عندما نذكر « الطبيعة الجسيمية للحقيقة الفيزيائية » ؟ توقف لحظة والتقط أي جسم قريب . أمسكه بيديك . هب مثلاً أنني التقطت قلماً . إن تقديري لصلابته يأتي حين أمسك به بين أصابعي . إنه يعطيني شعوراً مطمئناً بأنني أعرف أن القلم هنا . إن هذا الجسم لا يحيِّر . إنه يرتبط بكونه ما يكون : إنه قلم . وبعد برهة أُصبح شاعراً بمتانته ، فألعب به ، وقد أكسره إلى قسمين لأعرف ممَّ هو مصنوع . أُرسخ عندئذ شعوري بأنه يتألف من أشياء أكثر . أريد أن أرى أحشاءه الداخلية . إن رغبتي هي أن أكتسب اطمئناناً أعظم ، وتماسكاً أمتن وثقة أكبر . فأنا أبحث عن « المضمون » الكلي الكوني للقلم .

وهكذا أستمر في « تخريب » القلم ، لكنني أسعى إلى اطمئنان أعظم بخصوص لبنات البناء الأساسية التي تؤلف « القلمية » . لكن أصـابعي أعجز من أن تمسك بما يمكن أن يوجد في أحشـاء القلم من أشياء صغيرة . علي أيضاً أن أُحسِّن وسيلة القياس . قد يكون عندي ملاقط أنعم من أصابعي . لكن المشكلة هي أن ملاقطي ، عندما أعثر عليها ، مصنوعة من مواد تماثل المادة التي أفحصها .

لوحة رسمها فاسرلي تبين المفارقة في مزيج من حقائق رؤيوية متنامة .



لكنني أستمر في فحص مكونات القلم . أضعه في فرن يفككه إلى ذراته . وعندما أستخدم الحرارة أفصل ذرات القلم بعضاً عن بعض كي أستطيع أن أنظر إليها بشكل أفضل . عندئذ أدع ذرات القلم تخرج من الفرن متدفقة على هواها عبر فتحة صغيرة جداً في جدار الفرن . وبدلاً من الملاقط أقرر استخدام لوح أسود فيه ثقب صغير . تخرج الذرات مندفعة من الفرن ويرتد معظمها عن اللوح .

لكن بعضاً منها تمر فرادى مرة بعد مرة عبر الثقب . وأنا أنتظر ورودها على شاشة وضعتُها خلف اللوح . وهذه الشاشة مدهونة بطبقة رقيقة من مستحلب خاص يتحسس بالذرات ، كذلك الذي يستر الوجه الداخلي لشاشة التلفزيون . فعندما تصدم الذرة الشاشة تخلّف بقعة صغيرة . فهذه البقعة تنبئني بأن الذرة أصبحت هنا حقاً .

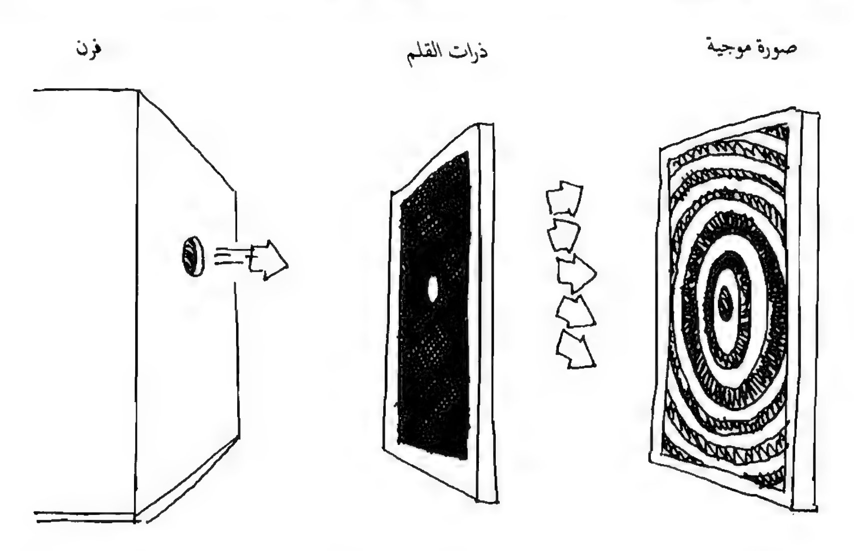
لكن شيئاً غريباً يحدث . ذلك أنني ، رغم عنايتي في وضع ثقب اللوح في مواجهة فتحة الفرن تماماً ، أجد أن الذرة لا تواصل سيرها على الخط المستقيم بين فتحة الفرن وثقب اللوح . وعندئذ أظن طبعاً أن

الثقب قد يكون أوسع مما يجب ، والذرة صغيرة لدرجة أن تستطيع عبور الثقب عند أية نقطة منه ، وبذلك تستطيع أن تَرِدَ على أية نقطة من الشاشة اللاقطة . عندئذ أُصغِّر الثقب ، مما يجبر ، بحسب ظني ، الذرات العابرة على سلوك امتداد الخط المستقيم الذي يصل بين فتحة الفرن وثقب اللوح حتى تصل إلى نقطة تقاطعه مع الشاشة .

لكنني بدلاً من إصلاح الحال أُلاحظ أن الأمور قد ساءت أكثر من ذي قبل ، أي أن الانحراف عن ذلك الخط المستقيم قد تفاقم بتصغير مساحة الثقب . ذلك أن الذرات العابرة تسقط على الشاشة في نقاط أبعد من ذي قبل عن نقطة تقاطع ذلك المستقيم مع الشاشة ، وكلما أمعنت في تصغير الثقب ازداد انحراف الذرات .

لقد أخبرني العالَم شيئاً أغرب مما كنت أظن . عندئذ أترك الفرن وأنا شارد الذهن أتفكر في الرسالة التي أبلغني إياها هذا العالَم . وفي أثناء تفكري تواصل الذرات اندفاعها إلى خارج الفرن من الفتحة ذاهبة نحو اللوح ويعبر بعضها الثقب إلى أن يبلغ الشاشة . و يستمر ورود الذرات بالملايين على الشاشة من فتحة الفرن عبر ثقب اللوح الأسود .

وفجأة أتذكر أنني تركت الفرن شغالاً ، فأعود بسرعة إلى تجربتي وأغلق الفتحة . وكمن يصحو من شرود ذهني تبدر مني التفاتة إلى الشاشة التي انتثرت عليها تلك الملايين من الذرات . فأكاد أرتمي على الكرسي من فرط الدهشة حين أرى عليها ذلك الشكل الذي أبدعت صنعه تلك الذرات ، تلك الجسيمات

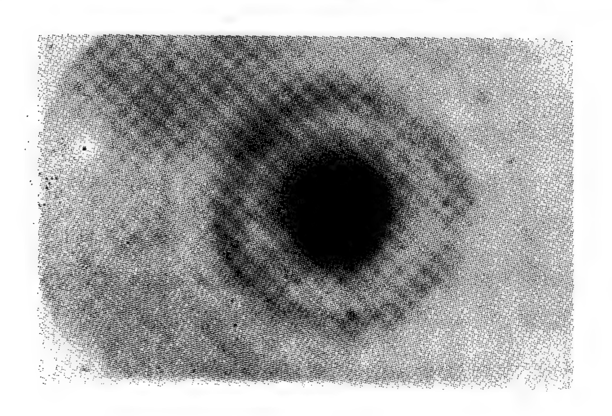


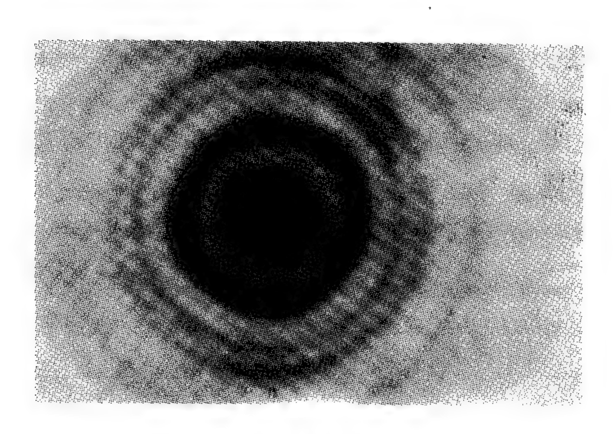
فرن يرسل ذرات القلم فرادى، فتمر عبر حاجز فيه ثقب ثم تشكل بعده حلقات تداخل على الشاشة البيضاء.

التي تحررت من مادة القلم . فبدلاً من أن أرى بقعة صغيرة متفشية خلف الثقب أشاهد سلسلة جميلة من الهالات الدائرية ذات مركز واحد ، حلقات ذات أقطار متزايدة مركزها كلها نقطة تقاطع ذلك الخط المستقيم مع الشاشة . يا لمتعة العين !

لا يوجد طريقة يمكن أن تحصل بنتيجتها مثل هذه الصورة من جسيمات مستقلة تَرِد فرادى على الشاشة ، هذا ما أعرفه . لا ريب أن في الأمر مؤامرة حبكتها هذه الذرات . أعود إلى افتراضاتي لأتأكد منها . ثم أفحص الفرن وأراقب تلك الصورة مرة أخرى . هاهي الذرات ترد فرادى على الشاشة . إن البقع تحصل بشكل عشوائي . إن الذرات تبدو عارفة أين يجب أن تذهب كي تصنع تلك الحلقات . لماذا لا يرد أي منها ليولِّد بقعة في الأمكنة الفارغة بين الحلقات فيشوه تلك الصورة الجميلة ؟ إنها ، لسبب ما ،لا تفعل ذلك .

صورتان فوتغرافيتان من أوائل الصور التي أظهرت تداخل الأمواج المواكبة للإلكترونات (١٩٢٧).





لكنني أتذكر أنني رأيت أشباه تلك الصورة من قبل عندما كنت صبياً . كنت في أيام الصيف الحارة أجلس ، بعد سقوط وابل من المطر ، أتسلى بإلقاء حصيات في حومات الماء الذي يملأ الحفر التي تتركها الجرافات وراء منزلنا . كانت كل حصاة أرميها في الحومة تصنع مويجة دائرية تنداح على سطح الماء . كنت أحياناً أرمي حصاتين معاً وأندهش من النتيجة . كانت المويجتان لا تحتفظان بكيانيهما مستقلين منفصلين . بل كانتا ، بدلاً من ذلك ، تتداخلان مُولِّدتين صورة جديدة تختلف عما تولده كل منهما بمفردها .

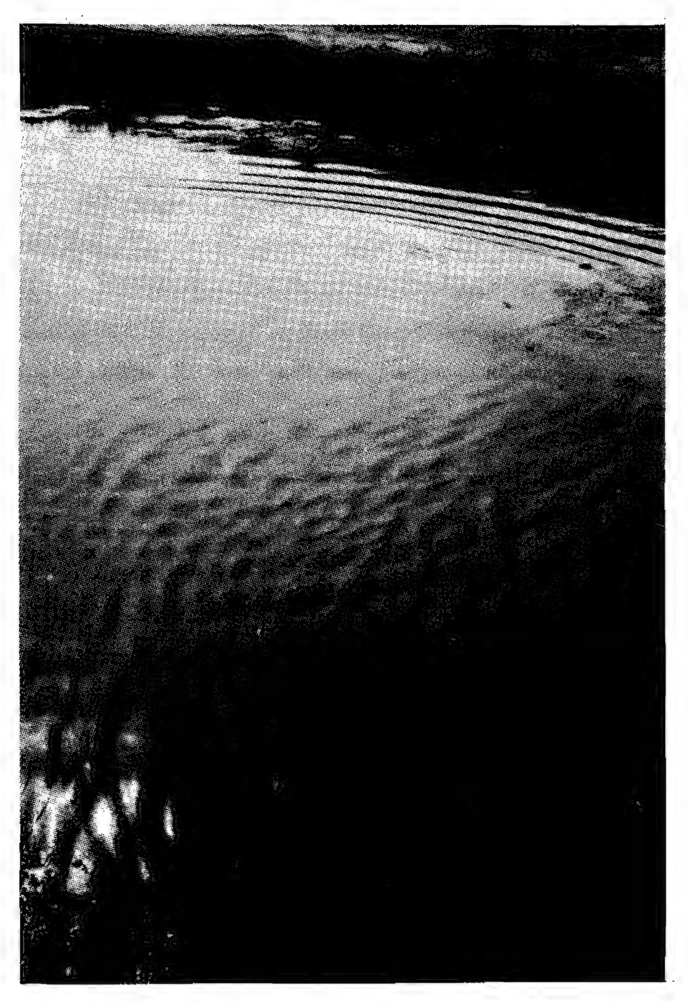
عندئذ أقرر أن ذرات القلم تصنع موجات من هذا القبيل ، فتتحول كل منها بما يشبه السحر ، وكما تتحول الضفدع إلى أمير ، من جسيم صغير صلب إلى موجة تنداح عبر الفضاء . إن هذا يمكن أن يفسر الشكل الحلقي الذي رأيته على الشاشة . لقد تولَّد من موجات تتداخل . عند هذه النقطة يخطر لي أن هذا المظهر الموجي لا يمكن أن يُفهم إلا إذا راقبناه عن كثب . هذا لأن كل ذرة مفردة تصنع على الشاشة بقعة صغيرة واحدة فقط . لكن الشكل الإجمالي الذي تصنعه كل بقع الذرات معاً هو الذي ينبئنا عن أن شيئاً قد حصل . إن هذه الأشكال الموجية هي تتمة الصورة الجسيمية للبقع المفردة .

أُنظر مرة أخرى إلى رسمة مكعب المفارقة . إن كل « ضربة » نظر مفردة إليها تُريك مكعباً صلباً ؛ إن هذا يشبه ما ترى عندما تنظر إلى بقعة ذرية مفردة . وبعد عدة « ضربات » ترى أنه ، بشكله التجريدي ، رسمة لم تعد خطوطها المستقيمة ، التي كنت تراها « أضلاعاً » للمكعب ، تمثل « أضلاعاً » متمايزة . أي أنك لم تعد ترى سوى الرسمة « الموجية » . وبهذه الطريقة ذاتها ترى رسمة « موجية » حلقية تصنعها « الضربات » كلها .

يوجد طبعاً أمثلة أخرى شائعة توضح هذه التتامية . خذ مثلاً قولك : « لا أستطيع أن أرى الغابة أشجاراً » . وحقوق الفرد في مواجهة حقوق الدولة مثال آخر يوضح التتامية . إن السمة المهمة لدينا هي أن الصوره الإجمالية ليست عشوائية ، بل إنها تنطوي على نظام ــ إنها صورة تداخل يستحيل حصولها إذا كانت الوحدات التي تشكلها تتصرف بشكل وابل جسيمات عشوائي حقاً ــ رغم أن كل جسيم مستقل بنفسه . فكل ما هنالك هو أن المادة لا تتصرف بالشكل الذي كنا نظنه .

إن هذه المثنوية موجة / جسيم تظهر في كل شيء ، بما في ذلك الضوء . ولا يوجد ما يشذ عنها . وإنني على يقين من أن بور يوافق على أننا ، نحن أيضاً ، جزء من مثنوية الطبيعة . لأن الطبيعة مثناة ؛ إنها تتصرف تبعاً لمبدأ التتامية . وإليك ما يقوله الفيزيائي بهذا الصدد : إن الخصائص الفيزيائية الأكثر عمومية لأية منظومة يجب أن يُعبَّر عنها بمقولتين متتامتين في المنظومة . إن كلاً من هاتين المقولتين تتمم الأخرى ، وكلما ازداد حرصنا على تحديد أو تعيين المنظومة في إطار إحدى المقولتين المتتامتين ، ازداد جهلنا بخصائص المنظومة على صعيد المقولة الأخرى .

إن اكتشاف مبدأ التتامية كان نقطة انعطاف في تفكيرنا . فقد تعلمنا منه أننا يجب أن لا نركن إلى إحساساتنا اليومية في سبيل معرفة الحقيقة بكاملها إن في كل ما نمارسه جانباً تتامياً خفياً . لكن هذا



تداخل موجي

على سطح الماء.

الجانب الخفي ليس موجوداً على الصعيد العملي دوماً . ففي حال قطعة النقود التي تسقط على الأرض بوجه الطرة لا يكون الجانب الخفي المتمم حقيقياً إلا عندما يظهر . وأفعالنا في هذا العالم هي دوماً شيء وسط بين هذين الجانبين المتخالفين . وكلما اشتد حرصنا على تعيين أحد جانبي الحقيقة ازداد خفاء جانبها الآخر علينا . وثمن هذه التسوية الوسط زهيد في ممارسات الحياة اليومية . لكنها باهظة الثمن في دنيا الذرات . فعندما نحاول تعيين الموضع الدقيق لذرة من ذرات القلم باستخدام ثقب صغير في لوح ، نخسر كل أمل في تعيين اتجاه حركتها المستقبلية ، أي أننا نعجز عن تعيين اندفاعها في لحظة تعيين موضعها .

إذا صغرنا الثقب في اللوح ، بهدف تحسين الدقة في تعيين موضع الذرة لحظة عبور الثقب ، نسبب لصورة التداخل الحلقية على الشاشة توسعاً أكبر من ذي قبل ، ويزداد هذا التوسع كلما نقصت مساحة الثقب . فإذا فسَّرنا هذه التجربة بلغة الجسيمات الذرية نجد تفاقماً في سوء تعيين اندفاع كل جسيم . وإذا

فسرنا هذه التجربة بلغة الأمواج نواجه « انعطافاً موجياً » أو انعراجاً ، ناجماً عن صغر الفتحة المتاحة للأمواج الذرية كي تمر عبرها . وعندئذ تتوسع حلقات الصورة الموجية لدرجة أن لا نستطيع الوثوق بما نرصده .

ولكن إذا زدنا في مساحة الثقب ازداد ارتيابنا في الموضع الذي مر منه الجسيم لحظة عبور الثقب . لكننا نقبض الثمن الآن لأن حلقات الصورة على الشاشة تتقلص ، أي أنها تتقارب فيما بينها وتقترب من المركز . وكلما زدنا في مساحة الثقب ارتصت الحلقات أكثر . وعندئذ نصبح قادرين على تعيين طول الموجة المواكبة للذرات وهي تعبر فتحة الثقب . ومن دستور دوبروي نعلم أن الاندفاع p يرتبط بطول الموجة L بالعلاقة $p = \frac{h}{L}$. وهكذا بتعيين طول موجة الذرّات لحظة العبور نعين اندفاعاتها .

ولدى المبالغة في توسيع الثقب نخسر تماماً كل معرفة بموضع الذرة لحظة عبورها . أي أننا نصبح عاجزين عن تعيين النقطة التي مرت منها الذرة لحظة العبور . لكن هذه الخسارة يقابلها في حلقات التداخل الموجي على الشاشة تقلص شديد لدرجة أن تزول الفراغات بين الحلقات فنرى ، بدلاً منها ، قرصاً واحداً تكاد مساحته تساوي مساحة فتحة الثقب . مما يعني أن الذرات كلها أصبحت تسلك خطوطاً مستقيمة من منبعها إلى موردها دون انعطاف لدى المرور بالثقب ، ويصبح اندفاع كل منها معيناً بشكل جيد . فنحن إذن نستطيع أن نغير في حقيقة الذرة بتغيير فتحة الثقب . فالذرة لا تكتسب موضعاً تمر به إلى أن نقيس موضعها . والذرة لا تكتسب اندفاعاً تمر به إلى أن نقيس هذا الاندفاع . وإن ما نعينه يتعلق بمساحة فتحة الثقب .

هل الاندفاع خفي حين نقيس موضع الذرة ؟ وهل الموضع خفي حين نقيس الاندفاع ؟ كلا ، ليس بالمعنى الشائع . إن كلا هاتين الصفتين ، الموضع والاندفاع ، حاضرتان في الطبيعة **بشكل كامن** . لكنهما ليسا حاضرين **واقعياً** ، إلى أن تجري محاولة لقياسهما . إن كيفية اختيارنا للتسوية الوسط ستعين الوجه الذي سيتجلى من الحقيقة : الوجه الموجي (الاندفاع) أو الوجه الجسيمي (الموضع) . وباستخدام ثقب ذي فتحة وسط ، لا كبيرة ولا صغيرة ، نحصل على قليل من كل وجه معاً .

إننا ، بمعنى ما وعلى الصعيد العملي ، لا نخسر المعرفة أبداً ، بل قل إننا نعطيها هيئة ما ، نصوغها في شكل ما . أي أننا نعدِّل الحقيقة الكامنة فنجعلها واقعية . ويظل ما كان خفياً في أعمالنا الرصدية حاضراً بشكل كامن . فالاندفاع ، حين يبدو لنا خفياً ، لا بد أن يكون موجوداً كي يصنع تداخلاً موجياً ، لأن التداخل لا يمكن أن يحدث إلا للأمواج ، لا للجسيمات التي تتصادم فيما بينها . وعلى هذا ، وبالرغم من ضياع معرفة الموجة في هذه التجربة ، فإن شيئاً من المعرفة ظل مكتسباً . وقد بقي مكتسباً في صورة تنامية كاملة ، في صورة موجة تُرى من خلال دستور دوبروي $p = \frac{h}{L}$.

لقد ناقش هايزنبرغ هذه الحقيقة الكامنة من حيث علاقتها بمبدأ اللا حتمية . وقد أسماها **الحقيقة الثالثة** ، أو **الحقيقة الوسط** . وقد كتب في هذا الشأن :

إن فكرة أن الأحداث ليست معينة بشكل قاطع ، بل إن إمكان وقوع الحدث أو « نزوعه » إلى

الوقوع هو الذي يملك نوعاً من الحقيقة ــ شريحةً وسطاً من الحقيقة تقع في منتصف الطريق بين الحقيقة الملموسة للمادة وبين الحقيقة الذهنية للفكرة أو الصورة ــ فكرة تلعب دوراً حاسماً في فلسفة أرسطو . وفي ميكانيك الكم تتخذ هذه الفكرة شكلاً جديداً ، إنها مصوغة .. كاحتمال وتخضع إلى .. قوانين الطبيعة .

إن هذه الحقيقة الكامنة جاهزة أمام اختيارنا . والخبرات التي نسميها « حقيقة » تتعلق بكيفية الشروع في صنع تلك الاختيارات . إن كل فعل ننجزه هو اختيار ، حتى ولو كنا غير مدركين بأننا نصنع اختياراً . إن عدم إدراكنا للاختيار ، في مستوى الإلكترونات والذرات ، يولّد لدينا الوهم بحقيقة ميكانيكية . فنحن ، بهذا المعنى ، نظهر مجرد ضحايا خاضعين لنزوات « كائن علوي » ، ضحايا يحكمها قدر محتوم لا حيلة لنا فيه .

اختيار الساحر

لا يوجد خيار ممكن في عالم تحكمه الأقدار . والكائن البشري ، ككل شيء آخر حي أو ميت ، محكوم عليه بالسير في طريق معين سلفاً . فلا مكان لإرادة السلوك الحرة . إنك قد تشعر بأن أفعالك الماضية قد اخترتها بملء حريتك ؛ لكنك بشيء من الإدراك اللاحق يُحتمل أن ترى أنك لم تكن تستطيع أن تختار شيئاً آخر . ومن جهة أخرى ربما تنظر إلى ماضي حياتك وتتمنى أن تكون قد اخترت أشياء أخرى . أُنظر مرة أخرى . لا شك أنك ستجد بعض الأسباب الصغيرة أو شيئاً من الاقتناع جعلك توقن بأنك ، في ذلك الوقت ، كنت تصنع الاختيار الصحيح . أي ، بكلمات أخرى ، أنك تصرفت بشكل معقول ومنطقي .

إن كثيراًمن الناس يؤمنون بالحتمية المرسومة سلفاً ، أو بالقضاء والقدر . وعندما تتعرض لظرف غير متوقَّع يقول هؤلاء الناس أشياء من قبيل : « أرأيت ، لقد أخبرتك بذلك » أو « إنه القدر » ، أو ، كما سمعت ذات مرة في مقهى باريسي ، « من يضحك كثيراً في الظُهر يبكي كثيراً في المساء » . ومن جهة ثانية يوجد حتماً أناس ، لا يقلون عدداً عن أولئك ، يشعرون بأنهم يمسكون بزمام كل شيء . إنهم ، عندما يرون ولداً ضربه جار استقوى عليه ، قد يقولون للولد : « إن الذنب ذنبك أنت . لماذا استفززته ؟ » .

ما الوجه الصحيح في هذا العالم ؟ إنهما كليهما ، مع الأسف ، صحيحان معاً ومغلوطان معاً . إننا ، في وقت واحد ، خالقو حقيقتنا وضحايا ما نخلقه ــ كما سنرى في المثال التالي .

في أواسط الستينيات ، وإضافة إلى عملي العادي كفيزيائي نظري ، تصرفت مهنياً كساحر متمكن . وغالباً ما كنت أعجب من أن في كل سحر جيد ، كما في فيزياء الكم ، مفارقة ما . ترى ، مثلاً ، فتاة قُطعت بالمنشار نصفين وهي مع ذلك لم تُقطع . أو ترى رجلاً في آخر الحجرة يظهر فوراً في أولها . أو ورقة لعب تراها أولاً ورقة أس وتصبح ورقة مَلِك .

كان أحد الأسرار العديدة التي كنت أمارسها كثيرا يسمى « اختيار الساحر » . يُطلب من أحد

المشـاهدين أن يختـار بين أشياء عديدة ــ أوراق لعب ، قطع نقود ، الخ . يظن المشـاهد أن له حرية الاختيـار ، وبذلك كان يندهش عندما كان يبدو عليَّ أنني أرى المستقبل ، فأتنبأ باختياره حتى قبل أن يختار . أما مدى دهشته فيتعلق ، على ما أظن ، ببنية اعتقاده العميق ــ سواء كان يعتقد بأن لديه إرادة حرة ، أم كان يعتقد بأن اختياراته في الحياة مُقدَّرة سلفاً . ولا أكتمكم ، كي لا أطيل انتظاركم ، أنني لم أكن أعرف بتاتاً أي غرض سيختار المشاهد . لكنني أكون قد حضَّرت سلفاً نبوءة لكل اختيار ممكن أعرضه على المشاهد . أي ، بتعبير آخر ، أكون قد غطيت الإمكانات كلها . إن عالمنا محضَّر بطريقة تشبه هذه كثيراً .

فكِّر لحظة بالله جل جلاله ، وكأنه ساحر متمكن عريق . وكالمشاهدين المستعدين للانخداع والذين يبحثون مع ذلك عن تفسير لألعابه السحرية ، نكون نحن أيضاً جمهوراً مستعداً على الدوام ينتظر الخدعة التالية بلهفة . وأحياناً نظن أننا قادرون على كشف حيل ذلك السـاحر العظيم . لكن السـاحر ، الذي نسميه الله ، كان قد أخفى خدعة خاصة ، « الشرك 22 » ، ليمنعنا من رؤية السر مفضوحاً . وفي اللعبة التالية ستكون قادراً على اختيار الحقيقة ، وفي الوقت نفسه ستكتشف أنك ليس لديك حقاً أي خيار بتاتاً .

تصور أنك جالس أمام منضدة في غرفة ساحر مشهور عريق . يدخل الساحر الغرفة ويسوِّي عباءته ويجلس أمامك وهو يحمل كيساً صغيراً . يُدخل يده في الكيس ويخرج بساطاً من لبّاد أخضر يفرشه على المنضدة . ثم يُخرج من الكيس أيضاً ظرفاً يضعه على البساط . يفتح الظرف ويستخرج منه ثلاث ورقات مكتوب عليها بالترتيب A و B وC ، ويصفُّها أمامك على المنضدة .

يقول لك : « هنـا ثلاث ورقات . يمكنك أن تختـار واحدة منهـا ــ A أو B أو C . إنني أتنبأ باختيارك مهما كان . إنه مكتوب سلفاً على ورقة ستراها . أنا لا أريد التأثير عليك بأية حال ، فلك مطلق الحرية في اختيار ما تريد . لكنني أعلم منذ الآن ما سوف تختار . وسأثبت لك ذلك عندما أريك ، بعد أن تختار ، ورقة كُتِبَ عليها الحرف الذي اخترته . هيا اختر !

عندئذ تحاول متشككاً أن تستبق رأيه فيما ستفكر به . قد تفكر أن معظم الناس سيختارون الحرف B لأنه في الوسط . قد تُسلسل أفكارك كما يلي : « سوف أضلله وأختار الحرف A المصفوف على يسار B . إنه لا يستطيع أن يعرف ذلك بحال من الأحوال ــ وما الفرق حقـاً ؟ سـأختار A . ثم تعلن اختيارك « اخترت الحرف A » .

يقول الساحر : « آه ، كنت أعلم ذلك ! افتح هذا الظرف الذي أمامك » ويدفع به إليك . إنه الظرف الذي أخرج منه الورقات الثلاث الأولى . تُفتش في هذا الظرف فتجد بطاقة رابعة ، أحد وجهيها أبيض ، والآخر مكتوب عليه :« اخترتَ الحرف A » . لا تصدقُ عينيك ، وتفحص الظرف مرة أخرى فتجده فارغاً .

عندئذ ينشغل فكرك وتتساءل متعجباً : « كيف فعل ذلك ؟ هل حزر ؟ هل هي مصادفة ؟ »

وتتفرس في سحنة الساحر . لكن برودته وثقته بنفسه تجعلانك تستبعد فكرة المصادفة . إنه متأكد ، وإضافة إلى ذلك كنتَ قد سمعت ممن جربوا معه هذه اللعبة أنه لم يخطىء قط . لكنه يبدو بشراً بما فيه الكفاية . لا بد أن في الأمر خدعة .

عند هذه المرحلة يبدأ العقل عادة يغربل ذكريات الخبرة الماضية ويحاول فصل الأفكار الزائدة عن الأفكار الجوهرية في سبيل إيجاد علاقة سببية ، علاقة السبب بالمفعول ، تحل له هذه المفارقة . قد تفكر مثلاً : « ربما كنت ، بطريقة ما ، مُجبراً على اختيار الحرف A . لا بد أن هناك قوة خفية دفعتني إلى هذا الاختيار . لم يكن لدي خيار حر ، رغم أنني بدا لي ذلك » .

وللتأكد من ذلك قد تبحث عن تعليل مفصل لقوة الاختيار القسري . « ربما كنتُ منوَّما مغنطيسياً . عندئذ أكون بالطبع فاقداً حرية الاختيار » . وبعد أن تظن أنك وجدت الحل ، قد تبحث مرة أخرى عن علاقة سببية أخرى . قد يسير تفكيرك كما يلي : « ربما أنني لم أحصل على أدلة كافية . فلأعد الكرَّة . ربما كان هناك متحولات خافية لستُ قادراً على التحكم بها ، لكنها في يدي هذا الساحر . فإذا أعدتُ الكرة ستنكشف لي الحيلة » . ومرة أخرى يروح عقلك يبحث عن علاقة سببية في خبراتك .

تتفرس ثانية في وجه الساحر وتقول : « دعنا نفعل ذلك مرة أخرى ، هل توافق ؟ » فيجيب : « نعم لكن بشرط » تسأله عن الشرط فيقول : « شرط أن تنسى أنك رأيت هذه اللعبة من قبل ! » . لكنك ترد عليه قائلاً : « ليس هذا عدلاً ، لأنني إذا لم أستطع أن أتذكر ما أريتني إياه الآن ، فكيف أتعلم كيف تتم الحيلة ؟ » وهنا تنشأ مشكلة .

إنك إذا استطعت الآن أن تراقب اللعبة مرة أخرى دون ذلك الشرط الإضافي تصبح قادرا على كشف اللعبة فعلاً ، وهي أن الساحر كان قد خبأ نبوءة لكل اختيار . فلو أنك أخترت B بدلاً من A لكان طلب منك أن تنظر تحت البساط على المنضدة لتجد هناك بطاقة أخرى مكتوب عليها : « لقد اخترت الحرف B » . ولو كنت اخترت C لدلَّك على مكان ثالث تجد فيه بطاقة ثالثة كُتب عليها أنك اخترت C . أو أن يسألك أن تنظر ما هو مكتوب على الوجه السفلي من الكرسي الذي تجلس عليه ، أو في أي مكان آخر من زوايا الغرفة .

لكن الساحر يُصرُّ على « الشرك 22 » . ولا بد لك أن تسايره ولو على مضض . فتتدبر الأمر كي تتظاهر بنسيان أنك رأيت هذه اللعبة قبل الآن . فيلعبها معك مرة أخرى . وتختار الآن الحرف B . فيطلب منك أن تنظر تحت البساط . وتندهش حين تجد هناك بطاقة كُتب عليها : « لقد اخترتَ الحرف B » . لكنك حتى لو كنت نسيت أنك رأيت هذه اللعبة من قبل ، تشعر بشيء من الارتباك . لقد كنتَ تحب أن تمسك بالساحر متلبساً بخدعته .

إن هذه اللعبة ترينا أننا نملك إرادة حرة ، وإن كنا نظن أننا مشاهدون ليس لنا أي خيار . ومع ذلك نجد ، مهما كان الاختيار الذي نصنعه ، أنه كان متوقعاً سلفاً . إن عالمنا يظهر للفيزيائيين الكموميين الذين يتحرون الظواهر الذرية مشابهاً جداً لمثال « اختيار الساحر » ، بما في ذلك خصوصاً شرط المخادع في

« الشرك 22 » . فعندما يُجري الفيزيائيون مجموعة أرصاد ، أيا كانت ، يجدون أنهم لا يستطيعون التنبؤ بنتيجة اختياراتهم ، ومع ذلك تظهر هذه الاختيارات مترابطة بعلاقة سببية أو بأسلوب معين سلفاً . هب ، مثلاً ، أنهم يريدون تعيين موضع جسيم ذري متحرك . فمن خلال تاريخه الماضي ، الذي قد يكونون شاهدوه على شكل خط ارتسم على لوح تصويري ، يمكنهم أن يعتقدوا أن مستقبله معين سلفاً . لكنهم إذا وضعوا أجهزتهم الكاشفة على طول المسار المتوقع سلفاً سيصابون حتماً بالدهشة ، لأن آخر عملية رصد أجروها قد غيَّرت حركة الجسيم بما جعل موضعه التالي على امتداد الخط السابق مجرد احتمال . فالفيزيائيون على غرار المشاهد في « اختيار الساحر » يجدون أنهم يُخدعون في كل عملية رصد للجسيم حينما يختارون أن يعيِّنوا موضع الجسيم المستقبلي بالاعتماد على موضعه الماضي .

إننا ، بتعبير آخر ، لن نكتشف أبداً أسرار الله الخفية . إن المحاولة الثانية في استكشاف الحيلة تشبه موقف الفيزيائي حين يقوم بدراسة الطبيعة تجريبياً . إن الله يجيب الفيزيائيين في كل مرة يسألونه ؛ لكن الفيزيائيين لا يرضون بهذا الجواب . إنهم يرتبكون جداً أمام ألعاب الله السحرية . ولهم الحق كله في هذا الارتباك ، لأنهم مقتنعون جداً بوجود سبب لمثل هذا السلوك النزوي . إن المسار المستقبلي للجسيم الذري يبدو متوقَّعاً حقاً من خلال أثر مساره الماضي الذي يرونه مسجلاً . إن أذهانهم ، كذهنك ، تذهب نحو أفكار العوامل الخفية المستحكمة . إنهم يتساءلون : « ما الخطأ الذي ارتكبناه ؟ » . ومن موقف اليائس يجدون أن لا مندوحة لهم عن التسليم بقضاء الله ، فقد بلغوا حد القنوط ،

وسِـــرُّك في حجبـــه كلمـــا أطـــلَّت عـليــه الظنــون استــتر

إن دور الضحايا معروف لدينا كلنا . إن الضحايا غير مسؤولين عما يحدث لهم . إن « الناس الآخرين » هم الذين فعلوا ذلك بهم . إن الضحايا لا تتحكم فيما يطرأ على حياتها . لكننا إذا نظرنا عن كثب كاف إلى الظروف يتبين لنا ، في أغلب الأحيان ، نموذج من الأحداث التي تطرأ على ماضي الضحايا . نرى عندئذ أن الضحايا ، وربما عن غير قصد منهم ، ينطبق عليهم المثل القائل « يداك أوكتا وفوك نفخ » ، فليس لهم أن يندهشوا من سوء العاقبة .

ومع ذلك يبدو الضحايا عادة غير واعين لأعمالهم . وعندما ينظرون إلى الوراء يتحسرون ندماً على اختياراتهم الماضية : « يا ليت أننا كنا نرى ما نراه الآن » . ربما كانت هذه الحسرات معروفة عندك . أما أنا فقد عرفتها بالتأكيد . وهنا بيت القصيد . إننا لم نستطع قط أن نرى ما نراه الآن . إن أفعالنا الماضية ، كأثر مسار الجسيم الذري أو حيلة الساحر ، لا تظهر متوقَّعة إلا عندما ننظر إلى الوراء .

لماذا لا نستطيع أن نرى المستقبل ؟ لماذا يظهر العالم ، عندما ننظر إلى الوراء ، قابلاً لأن نتنبأ به ؟ إن الجواب عن كلا السؤالين هو : إننا لا نستطيع أبداً أن نرى أنفسنا سلفاً كما نراها اليوم . فكم من مرة تساءلت : لماذا يعمل خيرة أصدقائي مثل هذه الأعمال البادية السخف ؟ إن من السهولة بمكان أن ترى أخطاء الآخرين . إن كلاً منا يرى نفسه قادراً على الوعظ وعلى منح النصح لأحبابه وأصدقائه ، وحتى لرجال الدولة والامبراطوريات ورؤسائها . كلنا يعرف ما هو خطأ في الوطن ولماذا هبط مستوى بطلنا

المفصَّل ، وكيف ننقذ العالم . كل منا يعرف الآخرين جيداً .

ومع ذلك تجد أننا عميان لدرجة مذهلة عندما ينظر كل منا إلى نفسه . إننا لم نتعلم أن نرى أنفسنا كما يرانا الآخرون أو كما نراهم . إن إسهامنا في عملية الرصد ، أيان حدثت ، يبدو في حدوده الدنيا . أو ، بما أننا خاضعون لحالاتنا الشخصية ، أن العكس هو الذي يحدث ويصبح إسهامنا في العملية كبيراً جداً . وفي أثناء ممارستنا لفعل الرصد ننفصل عما نرصده . وفي عملية الرصد نفسها يظهر العالم الموضوعي « الحقيقي » ويتلاشى الراصد الشخصي . فنحن لا نعرف كيف نرصد أنفسنا . وفي المثال التالي ، في « حالة الراصد المتلاشي » ، سنفحص كيفية رَصدنا للعالم ، عندما نثابر في تحرياتنا عن طبيعة « الحقيقة » .

حالة الراصد المتلاشي

تُعلمنا الفيزياء الكمومية أننا ، في أثناء رصد الحقيقة ، نكون في الوقت نفسه مساهمين فيها . أي ، بتعبير آخر ، أن « الرصد » ليس كلمة حيادية ، و« فعل رَصد » ليس فعلاً حيادياً . لكن تربيتنا الغربية التقليدية قد عودتنا على أن تفكيرنا موضوعي أي على أن نظن العالم شيئاً موجوداً سلفاً .

إن لعبة عالم موجود سلفاً لا تنطوي على لاعبين . إنها كالآلة الحاسبة تستمر في عملها وتتبع قواعد موضوعة سلفاً ، وكل ما تستطيع اللعبة أن تفعله هو أن تستمر . وكل ما نستطيع نحن أن نفعله هو أن نراقب ، لا أن نتحكم في الآلة أبداً . إننا حياديون ونكاد نكون رصّاداً غير موجودين في تلك اللعبة المختارة سلفاً .

إن الموضوعية تستوفي ضريبتها ، والثمن هو وعيك لوعيك . لكن الموضوعية ليست سوى وهم . تأمل في مفارقة المكعب . إنك تختار الوجوه فيظهر المكعب ، لكنك تفتقد وعي اختيارك له . أي ، بتعبير آخر ، انك تتلاشى عندما يظهر المكعب . فأنت ، بمجرد ظهور المكعب ، تقذف بمظهره إلى خارج عقلك . لقد كان ذلك عملية خلق مفاجىء : « هذا مكعب ! » . إن فِعلة الاختيار هذه فصلتْك « عنه » . إن الصورة التي كوَّنتها في عقلك للمكعب أصبحت مكعباً حقيقياً في خارجَ عقلك . كل هذا يحدث بسرعة كبيرة جداً جداً ــ فور ان « ترى » في الرسمة مكعباً . وربما كنت ، بالسرعة ذاتها ، قد رأيته كرسمة تجريدية مرة أخرى ــ أو أنك فكرت بشيء آخر . إن عقلك لم يُخدع تماماً . لكنك ، ولو للحظة واحدة ، خلقتَ المكعب « في الخارج هناك » كشكل مجسم ذي ثلاثة أبعاد .

ومع ذلك هب أنك لم تستطع البتة أن ترى المكعب في هيئته المتممة ، كمجرد شكل ذي بعدين مؤلف من نقاط وخطوط . افترض أنك كنت مهيأً لتراه ، دوماً وأبداً ، كشكل مجسم . أعتقد أن رؤيتنا للعالم تشبه مثل هذه الرؤية المهيأة سلفاً للمكعب . إن المكعب ، عندما يُرى بعيون مستعدة سلفاً لرؤيته كمكعب ، يقفز من « حالة » لأخرى دون أن يمر بشكل تدريجي عبر حالات مرحلية . وكلما قوي استعدادك السلفي لرؤيته كشكل مجسم تناقصت مسؤوليتك عن قفزاته . إنه يقفز ، عندما يريد أن يقفز ،

بشكل يبدو عشوائياً . وبعد مدة قد تحاول أن تجد معنى لقفزاته ، أن تبحث عن آليته الخفية ، وعندئذ تشرع في جعل « المهمة » أسوأ ـــ لأنك لم تعد هناك . لقد أصبحت شيئاً حيادياً في عملية الرصد .

ولفهم هذه الظاهرة سر بها خطوة أخرى . أنظر إلى يدك . أشعر بإبهامك . إنك تجعل تجربتك موضوعية في كل مرة تتحسس فيها إبهامك . إن إبهامك شيء هو جزء من جسدك . إنك تشعر أن إبهامك في « الخارج هناك » . إن إبهامك ليس أنت ، أليس كذلك ؟ فكرّ في أجزاء أخرى من جسدك . إن كل فكرة تجلب لك إحساساً بذلك الجزء . وكل إحساس يجعلك تتلاشى . إنك لست إحساساتك . أليس كذلك ؟ إن الإحساس يذهب بك بعيداً عن أجزاء جسدك ، ويجعلك تغوص ضمن نفسك أكثر فأكثر ، إلى أن تتلاشى .

لكنك موجود . إن كل ما تراه وتسمعه وتشمه وتلمسه وتذوقه منوط بما صنعه العقل من صور لكل ما تتخيل أنك رأيته أو سمعته أو شممته أو لمسته أو ذقته . إن الحقيقة مصنوعة من أفكارك عن الحقيقة .

لننظر مرة أخرى إلى حقيقة الفيزيائيين الذرين عندما يقومون بتجربتهم الذهنية لالتقاط ذرات القلم . إنهم يرون أن القلم جسيمات ذرية ، نقاط مادية صغيرة تتصرف ككريات طاولة قزمة . إن الحقيقة متينة في رأيهم ، وفي رأي معظمنا على الأرجح ، لكن كريات الطاولة هذه لا تتصرف كما تفعل كريات الطاولة العادية ـــ بل هي تتعرج وتنحني وتنتشر كالأمواج مشكلة أزياءً موجية عندما تُستقبل بمجموعها على شاشة ، وتعطي علائم إفرادية عندما نراها منفصلة . فإذا اعتمد الفيزيائيون المنظر الانفصالي حقيقةً والمنظر الاجمالي « جزءاً من الحقيقة لم يتفسر بعد » يصبحون ضحايا أفكارهم المهيأة سلفاً ، القائلة بأن الحقيقة جسيمات مادية . وهذه الجسيمات تتصرف تصرفاً غير متوقع فتبدو قافزة هنا وهناك دون أن تأبه للمسارات التي كانت تسلكها في الماضي ، وكأنها كائنات بشرية .

هل لدى الفيزيائيين ـــ وبالطبع هل لدينا كلنا ـــ حل آخر ؟ إنني أعتقد ذلك . إن علينا أن نرى الوجه المتمم . علينا أن ننظر في دورنا في هذا كله . لكن هذا ليس بالأمر السهل . إن من الصعب علينا أن نتجرد من استعدادنا المسبق . إننا نختار بنشاط حقيقة العالم في كل لحظة ونحن ، في هذه اللحظة نفسها ، غير واعين أننا نفعل ذلك . لكننا إذا وعينا هذا الواقع البسيط نصبح قادرين على رؤية الوجه المتمم لهذا العالم . وبمجرد أن نرى وجه الحقيقة المتمم تتقوض أحكامنا المسبقة ، كما تتقوض رؤانا لأوجه « المكعب » . وعندئذ تزول الحواجز الفاصلة بين العقل والمادة . ويتفق الله والبشر .

كانت المذاهب الاغريقية القديمة في إيونيا وإليا ترى أن جوهر الأشياء كلها ، ذلك الذي كانوا يسمونه « الفيزيس » والذي منه اشتُقت كلمة « الفيزياء » ، هو الذي يوفق بين الكينونة والتغير . والمثال التالي ، أو ما يسمى « مفارقة نيوكُمب Newcomb's Poradox » ، يبعث في أيامنا هذه الخلاف القديم بين مذهب الكائن الرباني ومذهب الحقيقة الموضوعية . لكن « الفيزيس » الجديد هو اليوم « الفيزياء » الكمومية . نحن كبشر ضروريون . هناك حاجة لنا . وكل ما علينا عمله هو أن نغير طريقة تفكيرنا .

مفارقة نيوكُمب

إن المفارقات صديق قديم لأولئك الذين تعودوا على قبول تعاليم الفيزياء الكمومية . ومن الفيزيائيين النظريين نفر يستمتعون بممارستها وباستنباط مفارقات تبيِّن مدى ما تسببه لنا أحكامنا المسبقة من اضطراب . وأنا لا أدري حقاً إذا كان ويليام نيوكمب قد أراد ذلك حين خلق لنا المفارقة التي نحن بصددها . لكنني أعرف حقاً أن الدكتور نيوكمب فيزيائي نظري جيد .

لقد التقيت نيوكمب لأول مرة عام ١٩٦١ عندما اخترت أن أقضي صيف ذلك العام في مختبر لورنس ليفرمور حيث كان يعمل في مشروع شيروود لحل مسألة التحكم في الاندماج النووي الحراري . كان موضوع أطروحتي للدكتوراه ينتمي إلى هذا المجال ، وعلى هذا خصصت عدة أوقات للتحدث مع نيوكمب بعد الظهر . وكان حتماً من المفروض أن يعرض عليّ مشكلته الصغيرة ذات يوم .

لكن حل هذه المشكلة لم يتبين لي إلا عام ١٩٧٧ . وهذا الحل هو الذي أريد أن أشاطرك إياه اليوم . إنه يقدم ، في إطار « التفكير الكمومي » ، تطلعاً إلى تسوية الصراع بين « الإرادة الحرة » و « الحتمية المسبقة » . وعلى هذا دعنا نعد إلى غرفة الساحر صديقنا القديم . لكننا ، في هذه المرة ، سنضغطه ونضغط أنفسنا حتى نصبح بحجم الذرة .

ومرة أخرى يدخل الغرفة ويجلس قبالتك ، ويقول : « إنني كائن ملهم أستطيع أن أرى المستقبل . عندي هدية لك . سأجعلك غنياً جداً إذا اعتقدت بقدراتي » . وعندئذ يضع أمامك صندوقين صغيرين مسالمين ، مكتوب على الأول الحرف « L » وعلى الثاني الحرف « R » ، ثم يقول : « لقد وضعتُ في الصندوق L الف دولار ، إنه لك . وفي الصندوق R وضعت مليون دولار (بأوراق نقدية كبيرة طبعاً) أو لا شيء . ولك خياران . إما أن تختار الصندوق R وحده أو أن تختار الاثنين معاً » . وللوهلة الأولى تصيبك الدهشة . إذ ربما كنت تظن أنه سيطلب منك أن تختار أحد الصندوقين . لكنك عندئذ تدرك بسرعة أن هذا لا يعني شيئاً . وتتساءل ، ما هي اللعبة ؟ ويتابع الساحر : « يجب أن يكون لديك إيمان بي كي تربح المليون . تذكر أنني أستطيع أن أرى المستقبل . وأنا أعلم منذ الآن ما سوف تختار . فإذا اخترت الصندوق R سأكافئ اختيارك وستجد المليون فيه . أما إذا كنت طماعاً واخترت الاثنين معاً ستجد أن الصندوق R فارغ ، وستكون مكافأتك محتويات الصندوق L فقط » . إنه واثق من نفسه جداً . زد على ذلك أنك ، في لعبة « اختيار الساحر » السابقة ، سمعت من الآخرين أنه ينجز وعوده . وما يزال جالساً هنا . إنه لا يمس الصندوقين ، وسواء كان المال موجوداً أم لا أم .... ماذا ؟

قد تُعمل التفكير : « إن هذا الكائن يستطيع حقاً أن يفعل ما يدَّعي القدرة عليه . إنه يعلم سلفاً ما سوف أفعل . لكنه كيف يستطيع أن يعلم حقاً ما سوف أختار ، إذا كنت أنا لا أعلم حتى الآن ما سأختار ؟ فإذا كنتُ مؤمناً به سأختار الصندوق R وأحصل على المليون . ولكن بما أنه لا يمس أياً من الصندوقين فالذي كان كان . إن المال موجود سلفاً في ذلك الصندوق أو غير موجود . لا يهم — سوف

أختار الاثنين وأحصل على المليون مع الألف . لكنه يعلم أنني سأفكر بهذا الشكل ، فهو إذن عالم بذلك من قبل ولم يضع المليون في R » . وهكذا ، شيئاً فشيئاً ، يستبق عقلك المفارقة . والنتيجة الوحيدة التي تستخلصها هي أنك إذا صدقت قوله لا بد أن تختار R فيأخذ القدر مجراه وليس لك إرادة حرة .

لكنك قد تقول في نفسك : « إن هذا الكائن كائن عادي ، كغيره من الناس . إنه يمارس علي خدعة . وسواء أكان قد ملأ الصندوق R أم تركه فارغاً ، فهو لا يستطيع الآن أن يفعل شيئاً . سأختار الصندوقين معاً . فإذا وجدت R مليئاً أربح مليوناً وألف دولار ، وإذا وجدته فارغاً يكون فارغاً في الأصل حتى ولو كنت قد اخترت R وحده ، وبذلك لا أخسر شيئاً » . وعلى هذا ، وعلى أساس أن الذي كان كان ، تختار الاثنين معاً . وتُسترد الإرادة الحرة . فماذا تفعل ؟

الجواب هو أن تختار الصندوق R إذا أردت المليون . لكن مكافأتك لن تأتي من مقدرة هذا الكائن القدير أو من بصيرته الثاقبة . إنها لا تظهر كذلك إلا لعقولنا الغربية المهيأة سلفاً . وبما أننا ذوو حجم ذري فإن المليون دولار يكون في أرض المفارقات ، إنه في الصندوق ، وفي الوقت نفسه ، ليس في الصندوق . إن فعلك الرصدي يخلق الاختيارات — إن المال هناك أو المال ليس هناك ، وذلك حسبما تختار . إن الذي يحسم المفارقة هو فعل رصدك . إن اختيار الصندوق R هو الذي يخلق مليون دولار . وكما هي الحال في وجهي مكعب المفارقة ، الأمامي والخلفي ، تجعل خياراتُك الإمكانياتِ حقائقَ .

مبدأ التتامية : خلاصة القول

إن الكم صغير ، والعالم الذي نعيش فيه يتعلق بصور ذلك العالم التي نرسمها بأذهاننا . وبسبب صغر الكم تبدو هذه الصور متماسكةً تماماً واستمرارية ، مرتبطة منطقياً بماضينا ، وقواعدَ معقولةً لمستقبلنا . ومن إرثنا التقليدي برزت صورتان للطبيعة تولدتا بشكل طبيعي : هما الصورة الموجية والصورة الجسيمية للحقيقة . وبذلك حاول الفيزيائيون تفسير التجارب بلغتي هاتين الصورتين . لكن هذه المحاولات فشلت . وهذا الفشل ناجم عن الاضطراب غير المتوقع الذي لا بد أن يخلقه الراصد عندما يرصد العالم الذري . والعالم يظهر ذا مفارقات وتقطعياً لأننا نحاول استخدام هاتين الصورتين ونتجاهل وجودنا ذاته في هذا العالم .

إن كلا هذين الأمرين — تجاهلنا لوجودنا وللمثنوية موجة / جسيم — يعملان بنجاح في حال الأجسام الميكانيكية التي نصادفها يومياً . وسبب نجاحهما في مضمار هذه الأجسام يعود إلى صغر الكمّ . لكنه محدود الصغر وليس صفراً . ونحن ، بتعبير آخر ، نؤثر في العالم بشكل أساسي . ووجودنا محسوس جداً في المستوى الذري ، لكن من الصعب جداً أن نشعر به في مستوى الأحداث اليومية الشائعة . فنحن ، من خلال محاولة إبقاء أنفسنا خارج الحقيقة ، وإصرارنا على الموجات والجسيمات لتوصيف الحقيقة ، مضطرون إلى أن نرى العالم مثنوياً وذا مفارقات وخصائص تتامية .

ورغم أن هذه الأفكار تظهر معقولة ، وأن معظم الفيزيائيين قد استقبلوها ببعض الفتور ، إلا أنها ذات سمة تثير كثيراً من القلق . وقد أشار أينشتاين إلى هذه السمة حين قال :« إن الله لا يلعب بالنرد مع العالم » . إن الحقيقة ، في رأي أينشتاين ، يجب أن تكون حقيقية بمعنى ما . يجب أن يكون في الخارج هناك شيء « خارجي هناك » . كان أينشتاين مشمئزاً من فكرة أن الراصد عاجز تماماً عن التحكم في مصيره .

وفي سبيل إنكار تفسير بور والتأكيد على الاستمرارية نشر أينشتاين عام ١٩٣٥ ، بالاشتراك مع زميلين له ، ورقة أثارت جدلاً عميقاً . لقد عُرف موضوع هذه الورقة باسم مفارقة أ.ب.ر EPR Paradox . تقول هذه النشرة بأن ميكانيك الكم ليس الكلمة الأخيرة في قضية الحقيقة . لكنها مع ذلك فشلت في تقديم حل يمكن أن يضاف إلى ميكانيك الكم أو أن يحل محله ، بل قادت إلى صلة جديدة وغير متوقعة فيما بين الأشياء المادية كلها .

« بلفيدير » رسمها موريتس إيشر (انظر التفاصيل في شكل سابق) . متاماً « البيت الكوني » ومفارقته .



الفصل التاسع

حالة العالم المفقود

لا شيء ، بخصوص ميكانيك الكم ،
أهم مما يلي :
لقد دمِّر مفهومَ العالَم كشيء « جالس هناك »
إن العالَم لن يكون بعد الآن أبداً كما كان .

John A. Wheeler

محامي الشيطان

لقد صُدم أينشتاين بمحاولات بور البرهان على أن صورة الحقيقة الفيزيائية المستمدَّةَ من الميكانيك الاستمراري لا يمكن أن تكون صحيحة وذلك بسبب مبدأ هايزنبرغ الارتيابي . فهذا المبدأ يرفض بكل بساطة أن يسوِّي بين منزلة موضع الجسم وبين منزلة اندفاعه . ولكن أينشتاين لم يستسلم قط . وفي السنوات التي تلت اقتراح مبدأ التتامية الذي يقول بأن صورة العالم تتألف من وجهين للحقيقة متناقضين سعى أينشتاين إلى البرهان على أن قصة ميكانيك الكم لم تنته بعد .

لم يكُفَّ أينشتاين عن مطاردة بور بتجربة ذهنية بعد أخرى . كانت هذه التجارب الذهنية تضع آراء بور على المحك . لكن بور نجح في الدفاع عنَ ميكانيك الكم ذاهباً في النهاية إلى استخدام مبدئه في التتامية . لكن أينشتاين لم يقتنع رغم هزيمته . كان يشعر أن المشكلة موجودة في النظرية نفسها . لم يكن هذا الميكانيك الجديد مطمْئناً تماماً ، لا بد أنه منقوص بعض الشيء . وفي عام ١٩٣٥ حاول أن يُبرز ما كان يشعر بفقدانه ، وذلك فيما عُرف بعدئذ باسم مفارقة أ . ب . ر .

مفارقة أ . ب . ر

في ١٥ أيار / مايو من ذلك العام قذف أينشتاين وبودُلسكي وروزن (أ . ب . رEPR) في الحلبة التي تقف عليها الفيزياء تحدياً اتخذ شكل سؤال على صفحات المجلة العلمية الشهيرة « المجلة الفيزيائية The Physical Review » ضمن نشرة عنوانها : « هل يمكن أن نعتبر توصيف الحقيقة الفيزيائية المستمدَّ من ميكانيك الكم توصيفاً كاملاً ؟ » . كان هؤلاء الثلاثة يعملون معاً في مؤسسة الدراسات المتقدمة بجامعة برنستون منذ أن هرب إليها أينشتاين من برلين عام ١٩٣٢ .

كان عمر أينشتاين آنئذ ستاً وخمسين سنة . كان لديه الوقت الكافي لمتابعة هذه المسألة ، رغم أن العديد من الفيزيائيين لم يكونوا يرون أن هذا النوع من الأسئلة يمكن أن يؤدي إلى اكتشافات جديدة . وسواء كان هذا السؤال أم لم يكن قضية من فلسفتهم ، أو حتى من عقائدهم ، فإن الفيزيائيين كانوا أكثر اهتماماً بالأشكال الرياضية الجديدة وبالعلاقات الجديدة التي أدخلها ميكانيك الكم في مفهوم الحقيقة الفيزيائية . فلم يكن لديهم وقت كاف يخصصونه لأمثال هذه الأسئلة التي يطرحها أينشتاين وبودولسكي وروزن . وبذلك لقيت نشرة أ . ب . ر بعض التجاهل .

كانت النشرة تعرض محاكمة منطقية ــ واحدة من الحجج التي لم تُدحض بنجاح حتى اليوم . إنها تنطلق من اختبار بسيط يتناول حقيقة أي جسم . كان الاختبار يتخذ شكل شرط ، والفيزياء مفعمة



بالشروط . والشروط نوعان : **شروط** (ظرفية) **كافية وشروط** (ظرفية) **لازمة** .

الشرط (الظرفي) اللازم شرط لابد من حصوله كي يتحقق ظرف آخر . وللأطفال خبرة معروفة بالشروط اللازمة في التعامل مع أمهاتهم : « لن أذهب للنوم إلا بعد أن تحكي لي حكاية » . هذا مثال عن الشرط اللازم . قد تبذل أم الطفل ما تشاء من الأعذار كي يذهب الطفل للنوم ، ولكنه يرفض الإذعان إلى أن يحصل على الحكاية .

أما الشرط الكافي فهو أضعف مطلباً . إنه شرط أصغري . فبالرغم من أن شريحة اللحم غير ضرورية لسدّ جوعك إلا أنها كافية لفعل ذلك . إن مفارقة أ . ب . ر تبدأ بهذا الشرط الكافي من أجل حقيقة أية كمية فيزيائية . وقد كتب أصحابها في المجلة المذكورة قائلين : « **إن لحقيقة الكمية الفيزيائية شرطاً كافياً هو إمكانية التنبؤ بها بيقين ، دون تشويش**[تشويشها] . » كان هؤلاء الثلاثة مهتمين بالمعنى الاحتمالي المعطى للأجسام الحقيقية في إطار ميكانيك الكم . وبالتحديد كانوا مهتمين بموضع الجسم واندفاعه . صحيح أن التنبؤ بقيمة الكمية الفيزيائية بيقين ليس شيئاً صعباً إذا كنا إزاء أجسام كبيرة . فنحن نستطيع أن نتنبأ بيقين كامل بأن قطعة النقود الملقاة على المنضدة مبدية وجه الطرة ستظل مضطجعة هناك شرط أن لا نشوشها . فمقدرتنا على التنبؤ بذلك هي عندئذ شرط **كاف** إزاء حقيقة القطعة النقدية مبدية وجه الطرة .

لكن ذلك قد لا يكون شرطاً **لازماً** . إذ لو قذفنا القطعة في الهواء لا نعود قادرين على التنبؤ بيقين بأن لها وجه الطرة ـــ رغم أننا لم نعد نشوشها بعد أن قذفناها . ومع ذلك ما يزال للقطعة وجهان . إنها حقيقية ، رغم عجزنا عن التنبؤ بأن لها وجه طرة كصفة حقيقية من صفات كونها قطعة نقدية . إن الأجسام التي نتعامل معها في الحياة اليومية لا تبدي العناصر الغريبة من ميكانيك الكم بسبب صغر ثابتة

بلانك h . ومن الواضح أن الشرط الكافي للحقيقة ليس شرطاً لازماً من أجل الأشياء التقليدية . لكن الحال قد لا تكون كذلك في أشياء دنيا الكموم .

إن موضع أي جسم واندفاعه يظهران مقدارين حقيقيين . إذ بالإمكان التنبؤ بهما كليهما بيقين عملي إذا كان الجسيم ذا حجم محسوس . أما في عالم الذرات والإلكترونات فإن مبدأ الارتياب يُنكر حقيقة هذين المقدارين كليهما معاً . أي أن من المستحيل تعيين اندفاع الجسيم بيقين مطلق إذا أمكن تعيين موضعه بيقين مطلق . وعلى هذا يمكن أن نستنتج ، من شرط كفاية أ . **ب** . ر ،أن أحد هذين المقدارين يجب أن لا يكون حقيقياً . أما أيهما الذي يجب أن ننكر حقيقته فأمر منوط باختيارنا . فإذا اخترنا أحدهما وقسناه يكون الآخر غير موجود .

لا ريب أن بور نفسه يوافق على ذلك . لكن أينشتاين كان يرمي إلى نتيجة ماكرة ، ونتيجة من شأنها أن تُظهر أن ميكانيك الكم يقود إلى تناقض إذا قبلناه كلمة نهائية في شأن الحقيقة . لقد أراد أينشتاين وصاحباه استخدام ميكانيك الكم للبرهان على أن بالامكان التنبؤ بموضع الجسم أو اندفاعه دون أن نشوش الجسم . وبتعبير آخر أننا نستطيع ، بعد أن يتخلص الجسم من تأثير فيزيائي متاح للراصد أن يُسلطه عليه ، أن نتنبأ بيقين من أي من خاصيتيه الفيزيائيتين هاتين . لكن الاختيار من شأن الراصد ، لا الجسم . ويرى أ . **ب** . ر أن الجسم يتمتع حتماً بالمقدارين **معاً** قبل إجراء عملية التنبؤ ، وكل مايفعله الراصد هو أنه يختار المقدار الذي يريد التنبؤ به .

ومع ذلك فإن أ . **ب** . ر يقبلون حتماً أن من غير الممكن أن نتنبأ بالموضع والاندفاع في آن واحد ، لأن ذلك من شأنه أن ينتهك مبدأ الارتياب . وهم لم يذهبوا في محاكاتهم إلى هذا الحد .

إن سبب هذا الوضع القريب من المفارقة يتصل بالطريقة التي يصنع بها الراصد هذا التنبؤ : إنه لا يصنع نبوءته من تشوش الجسم نفسه بل من تشوش جسم آخر كان قد اصطدم بالجسم الأول . والراصد يستقي عن الجسم الأول معلومات تأتي من رصد الجسم الثاني وذلك بسبب شيء آخر يسميه الفيزيائيون **ترابطاً** correlation بين الجسمين المتفاعلين .

خذ مثلاً لعبة البليار . إنك تستطيع عندما تقذف كرة على أخرى أن تتنبأ بسلوك الكرة الثانية من رصد سلوك الكرة الأولى وحدها . وبما أن هذين الجسمين كبيران ، أي من حجم « تقليدي » ، يمكنك أن تقيس في آن واحد موقع واندفاع أحدهما بدقة جيدة جداً . ومن قياس موقع واندفاع الكرة الأولى بعناية ، قبل تصادم الكرتين وبعده ، يمكن تعيين موقع واندفاع الكرة الثانية . فمنذ أن تصطدم الكرتان تصبحان مترابطتين أي ، بتعبير آخر ، أن ما سيحدث لكل واحدةمنهما ذو صلة بما حدث للأخرى في تفاعلهما الماضي . فإذا رصدنا إحدى الكرتين إذن سنجد أن بإمكاننا أن نتنبأ بما كنا سنحصل عليه من رصد الكرة الأخرى .

وبعد أن تنفصل كل منهما عن الأخرى انفصالاً ناجزاً فإن أياً منهما لن تتأثر أو تتغير بما نفعله بالأخرى مهما كان . وهذه مقولة نعتبرها بديهية ، لأنها هي التي نعنيها عندما نقول إن الكرتين قد انفصلتا

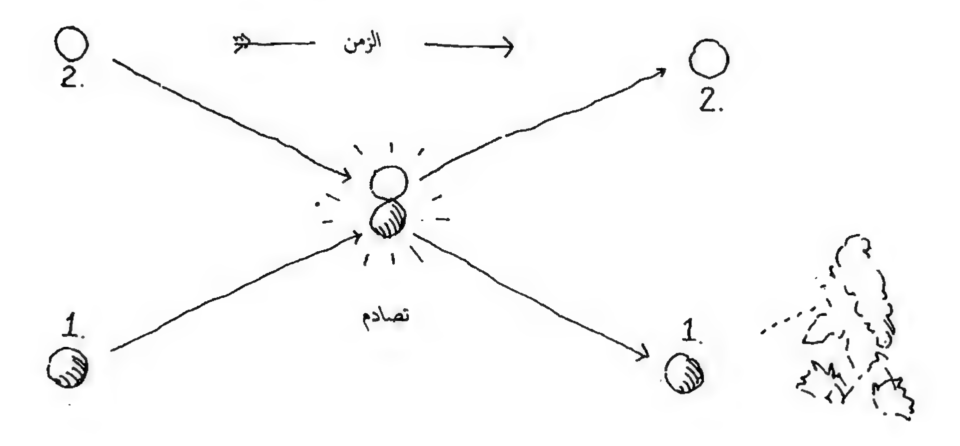
إحداهما عن الأخرى . والترابط الموجود بين الكرتين ليس سوى نتيجة لتفاعلهما الماضي ولا يمكن تغييره مهما فعلنا في الوقت الحاضر .

إن الترابط الذي شرحناه كشيء موجود بين الكرتين هو ترابط ميكانيكي تقليدي ، أو نيوتني . إنه ناجم عن قوانين نيوتن الحركية . وهو بالنتيجة دليل على كفاية هذه القوانين في التعامل مع حقيقة التصادم .

ولو كانت هذه القوانين غير تامة في توصيف الميكانيك التقليدي لما استطعنا تعيين حقيقة الكرة التي لم نرصدها . فنحن نعلم بوجود هذه الكرة بسبب قانون نيوتن الثاني . إن الكرة الأولى ، بعد حركتها بسرعة ثابتة ، تعاني تسارعاً جديداً . وهذا يعني ، بموجب قانون الحركة الثاني ، أن قوة إضافية أثّرت فيها ، قوة ناتجة عن الكرة الأخرى . وباتباع قانون نيوتن الثالث ــ المعروف باسم **قانون الفعل وردّ الفعل** ــ نستطيع أن نتنبأ بحركة الكرة الثانية من رصد حركة الكرة الأولى . إن رد فعل الكرة الثانية يساوي فعل الكرة الأولى .

لكن ميكانيك الكم شيء آخر تماماً . فبموجب قوانينه لا نستطيع أن نعلم ، بيقين مطلق وفي آن واحد ، موقع الكرة واندفاعها معاً . ومع ذلك تُعتبر النظرية توصيفاً تاماً لذلك الظرف المؤسف . فإذا كانت هذه النظرية توصيفاً تاماً للحقيقة لوجب أن لا نجد طريقة للتنبؤ بهذين المقدارين معاً دون تشويش الجسم الذي يمتلكهما . وبتعبير آخر ، لا يوجد عندئذ أية وسيلة يمكن للكرة الثانية التي لا نرصدها ، ومن ثم لا نؤثر فيها ، أن تمتلك بفضلها موضعاً واندفاعاً معاً ، ما لم نعمد فعلاً إلى رصدها مباشرة . أي

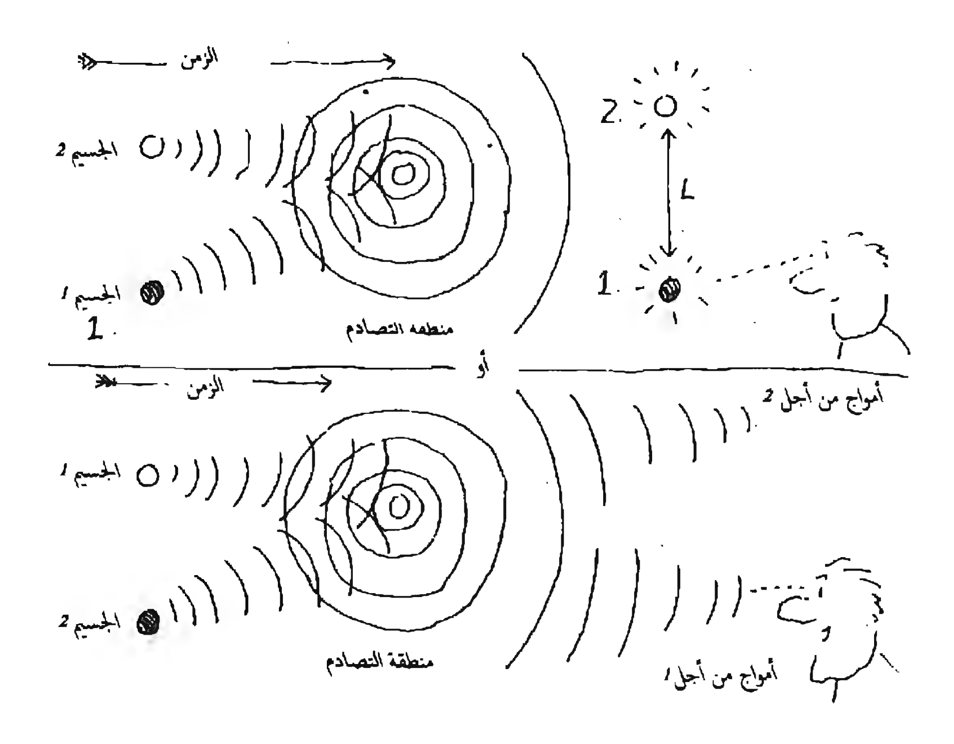
صورة تقليدية للترابط بين جسيمين : الراصد يرصد أحد الجسيمين كي يتنبأ بموضع الجسيم الآخر واندفاعه.



لا يوجد ، بعد التصادم والانفصال ، وسيلة لرصد الكرة الأولى قادرة على التأثير في « حقيقة » الكرة الثانية . وعلى هذا فإن المواصفات الفيزيائية للكرة الثانية ــ موضعها أو اندفاعها أو أي شيء آخر مستمد منهما ــ لا يمكن ، ولا يجب ، أن تتعين بأية عملية رصد تم على الكرة الأولى .

ليس من شأن الكرة الثانية أن تمتلك ، في أي ظرف من الظروف ، موضعاً واندفاعاً معاً في آن واحد . لقد وجد أ . ب . ر طريقة لكي تمتلك الكرة الثانية موقعاً واندفاعاً معاً في آن واحد ولكنهما يبقيان عصيين على التنبؤ . ومن ذلك استنتجوا أن ميكانيك الكم نظرية غير تامة لأنها تعطي هاتين الخاصيتين الفيزيائيتين للجسم دون أن تقدر على التنبؤ بسلوك الجسم .

ولكي نفهم كيف يمكن لميكانيك الكم أن يقود إلى هذا الموقف التناقضي ابتكر أ . ب . ر طريقة ماهرة للربط بين جسمين : لقد صنعوا تابعاً موجياً يعيِّن ترابطاً بين الجسمين . وهذا التابع ، رغم أنه



لا ينتهك مبدأ الارتياب ، يظهر غامضاً بعض الشيء . إنه ينطوي على نوعين من المعلومات ؛ فهو يجعل الراصد قادراً على أن يعيِّن بيقين المسافة النسبية بين الجسمين ، وفي الوقت نفسه ، مجموع اندفاعيهما .

ولفهم هذا الظرف الفيزيائي تصور حزمة إلكترونات تتفاعل مع حاجز يحوي شقين متوازيين مفصولين بمسافة ما . تخيلْ أن الحزمة الإلكترونية مُنارة بضوء وامض يسقط على الحاجز الذي يحوي شقين طويلين ضيقين وأُفقيين . ومع أن هذه الشقين ضيقان جداً فإن الفاصل بينهما معروف . وهذا يعني أن جسيمين مارين عبر الثقبين سيكون بينهما ، في لحظة العبور ، فاصل معين بوضوح . والآن تذكر دوماً أن من الممكن تماماً قياس اندفاع الحاجز وذلك قبل عبور الجسيمين وبعده . إن ضيق الشقين يمنعنا (*) من التنبؤ باندفاع أي من الإلكترونين . لكننا ، من قياس تغير اندفاع الحاجز ، نستطيع أن نعيِّن الاندفاع الكلي المعطى للإلكترونين لحظة العبور .

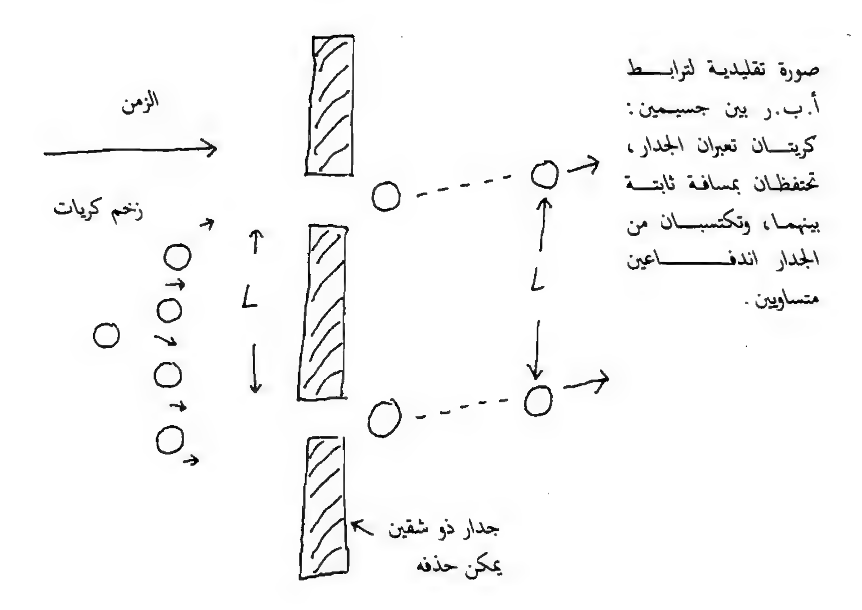
موجز القول : لقد صنع أ . ب . ر تابعاً موجياً يحوي نوعين من المعرفة : مجموع عزمي أي زوجي إلكترونين عبرا شقي الحاجز والمسافة الفاصلة بينهما لحظة عبورهما معاً . وعلى هذا ، وبموجب ميكانيك الكم ، يكون هذان المقداران الفيزيائيان حقيقيين **معاً** : لقد كانا قابلين لأن يقاسا في آن واحد . لكن موضع أي من الإلكترونين واندفاع أي منهما ما زالا غير معينين . إن موضع الجسيم الفرد الواحد العابر كان غير معين لأننا لم نعلم الشق الذي مر منه لحظة العبور . كما أن اندفاع الجسيم الفرد كان غير معروف لأن اندفاع الحاجز ذي الشقين كان بفعل مجموع اندفاعي الإلكترونين العابرين في وقت واحد . وهذا يعني ، بموجب ميكانيك الكم ، أن موضع واندفاع الجسيم الفرد ، من جملة أي جسيمين ، ليسا مقدارين حقيقيين فيزيائياً ، لا هذا ولا ذاك .

هكذا إذاً نستطيع ، بفضل الطريقة الخاصة التي صاغ بها أ . ب . ر تابعهما الموجي ، أن ننفي الحقيقة عن هاتين الخاصيتين الفيزيائيتين : الموضع والاندفاع . وبهذه الطريقة نعلم شيئاً عن الجسيمين ، كزوجين متضامنين ، لكننا لا نعلم أي شيء ، عن أي فرد منهما . فكأنك تعرف بشكل جيد جداً زوجين شرعيين من الناس ولكنك لم تصادف قط أياً منهما على انفراد كي تسأله رأيه في هذا العالم الكمومي .

بهذه المحاكمة استطاع أ . ب . ر أن يوجدوا ترابطاً بين الجسيمين . لكن هذا الترابط لم يكن من النوع الميكانيكي التقليدي العادي . ولإدراك الفرق بينهما افترض أن راصداً قد قاس موضع أحد الإلكترونين بعد أن ينفصلا . فمن معرفته المسبقة بالفاصل المكاني بين الإلكترونين يستطيع أن يؤكد بيقين مطلق الموضع الفيزيائي للإلكترون الثاني ، الإلكترون الذي لم يرصده . وبذلك يمتلك الإلكترون الثاني خاصية الموضع لأن من الممكن التنبؤ بموضع الجسيم الثاني دون أن نشوشه .

ولكن لنستمر في هذا الطريق .إن المحاكمة نفسها تصح من أجل اندفاع الإلكترون الثاني . فبقياس

(*) بموجب مبدأ الارتياب ، لأن الضيق البالغ للشق يعين الموضع بكل دقة . (المترجم)



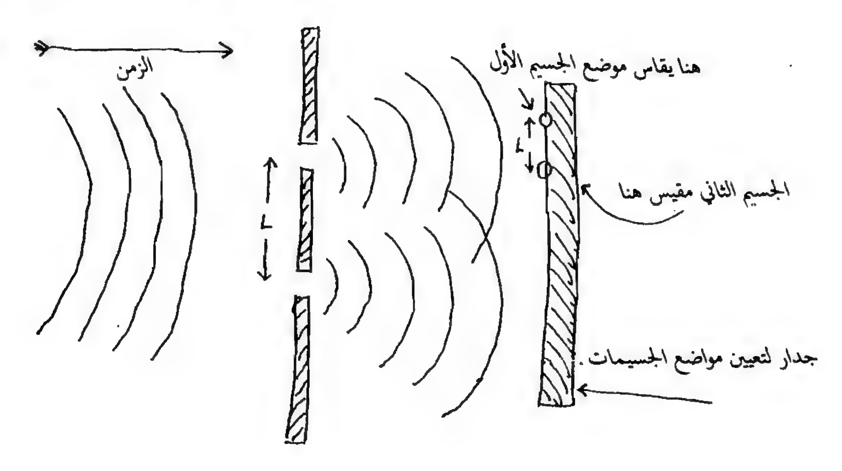
اندفاع الجسيم الأول نعلم فوراً اندفاع الجسيم الثاني ، لأن القياس السابق لاندفاع الحاجز كان قد عين مجموع اندفاعي الإلكترونين معاً . فإذا كان ب + ج = 10 ، وكنت تعرف أن ج = 3 ، يسهل عليك أن تحسب أن ب = 7 . وعلى هذا ، بموجب معيار أ . **ب** . ر في كفاية الشرط ، يكون اندفاع الجسيم الثاني أيضاً حقيقياً فيزيائياً لأننا نستطيع أن نتنبأ به دون أن نشوشه .

ولاعطائك تشبيهاً افترض أنك تقف في خط أمام كوة التذاكر على باب المسرح كي تشتري تذكرة ، وأن لصين متماثلين مرّا عدواً بجانبك وخطفا ورقة عشرة دولارات من يدك المسدلة . لكنك لم تعلم بالضبط أي اللصين هو الذي خطف الورقة ، أو ربما أنهما قد اشتركا في هذه العملية معاً . لقد رأيت أن لباسيهما متطابقان تماماً ، لكنك لا تتذكر ماذا كانا يلبسان .

ثم كان أن أُلقي القبض على اللصين . لكنهما سُجنا في غرفتين منفصلتين . هنا يحدث الشيء الغريب . تذهب إلى أحد السجنين وتطلب من اللص أن يعيد لك نقودك . فيعطيك 4 دولارات . عندئذ تخبر حارس السجن الآخر أن يطلب نقودك من اللص الثاني فيسترد الباقي ، 6 دولارات ، وعندئذ تطلب وصفاً فيزيائياً للسجين الذي لم تره فتكتشف أن السجين الثاني لم يعد لابساً مثل السجين الأول . وعندما يُسأل السجين يتبين أنه « أضاع » بعض ملابسه أو أنه بدَّلها على الطريق .

كل شيء معقول حتى الآن . لكن يحدث فيما بعد أن موجة من الجنح تجتاح المدينة وقد تم تصنيف كل الأشخاص ، الذين اقترفوا حادثاً اتُهموا فيه باختلاس 10 دولارات ، في أزواج بحسب تشابه اللباس . ولحسن الحظ كان قد أُلقي القبض على كل اللصوص . لكن نتيجة هذه العملية كانت شيئاً غير عادي إلى

صورة كمومية للترابط بين جسيمين : مفارقة أ. ب. ر

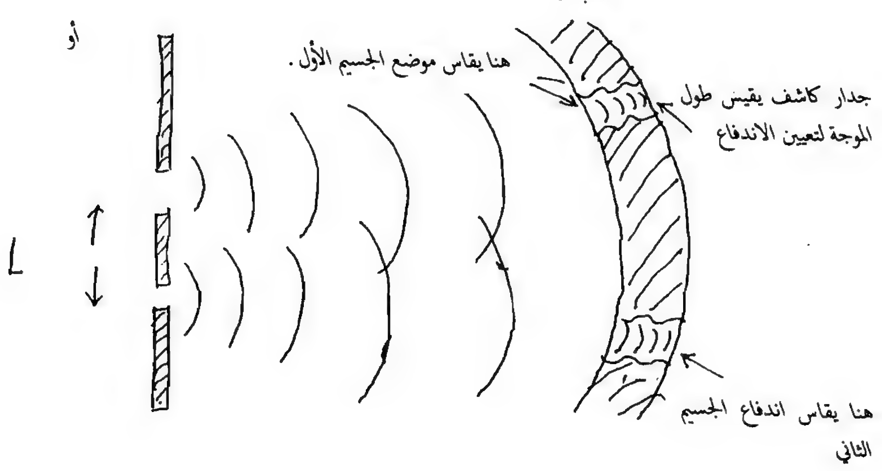


حدٍ ما . فقد استرد بعض الناس نقودهم . وبعضهم الآخر لم يفعل ذلك . واسترد بعضهم من المال أكثر مما فقدوا . وفي كل حالة لم يكن فيها المبلغ المردود مساوياً 10 دولارات بالضبط تبين أن لباسي اللصين متطابقان . وعندما سئل اللصوص عما حدث للأموال كانت أجوبتهم ضبابية .

ومن جهة أخرى ، وفي كل حالة كان فيها المبلغ المردود مساوياً 10 دولارات بالضبط ، لم يكن يوجد تطابق بين لباسي اللصين . كما أنه لم يكن واضحاً أن اللصين كانا يعملان كفريق . ومع ذلك كانا يردان 10 دولارات بالضبط ، رغم أن أحد اللصين قد لا يملك سوى دولار واحد في حين كان الآخر يملك 9 دولارات . أي ، بتعبير آخر ، أن مجموع المبلغين في جيبي اللصين كان مساوياً 10 دولارات بالضبط شرط أن يكون لباساهما مختلفين . أما في الحالات الأخرى فلم يكن المبلغ مساوياً 10 دولارات البتة ، وفي هذه الحالات الأخرى كان من السهل تعرف كل الأزواج لأن اللصين بلباسين متطابقين . كما لم يكن بين أي زوج وزوج آخر تطابق في اللباس .

في هذا التشابه تقابل بين تطابق لباس اللصين وبين قياس موضع الزوج الإلكتروني . وفيه تقابل بين مبلغ المال المحتوى في جيبي اللصين وبين الاندفاع الكلي للإلكترونين . وهذا المثال يوضح الترابط بين اللصين . فإذا ألقيت القبض عليهما ورصدت لباسهما أولاً دون أن تهتم بالمال ستجد أن اللصين كانا متطابقين في اللباس دوماً . أما إذا طلبت المال أولاً فستحصل على 10 دولارات بالضبط من كل زوج لصين قبضت عليه ، لكنك لن تجد أبداً أن هذين اللصين اللذين أعطياك المال أولاً لابسان لباسين متطابقين . وعلى هذا كان الترابط يتخذ أحد شكلين : تطابق في مبلغ المال ، 10 دولارات ، لدى كل زوج إذا طُلب المال أولاً ، أو تطابق في لباس كل زوج إذا رُصد اللباس أولاً . وعلى هذا فإن ما ترصده من

الجسيمان يعطيَان اندافاعاً واحداً من الجدار لكن المسافة بينهما، L، غير ثابتة.



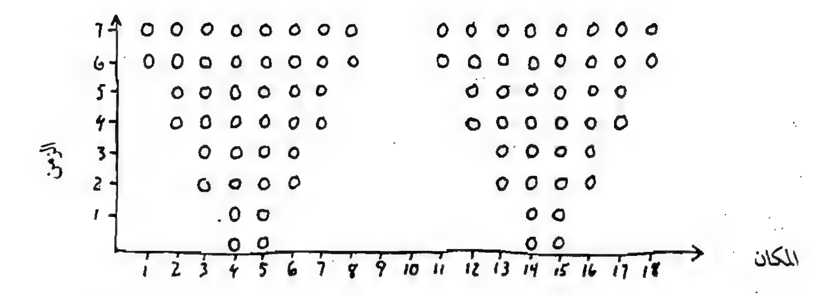
خاصيتي اللصوص منوط بالترتيب الذي تختاره في رصد هاتين الخاصيتين ـــ المال أولاً أم اللباس ؟

ماذا يمكن أن نستنتج من هذا التشبيه ؟ هل يملك الإلكترون الثاني حقاً موضعاً واندفاعاً معاً في آن واحد ؟ إذا كان الجواب نعم فإن ميكانيك الكم يقول بكل وضوح بأننا لا نستطيع أن نتنبأ بهاتين الخاصيتين كلتيهما في وقت واحد .

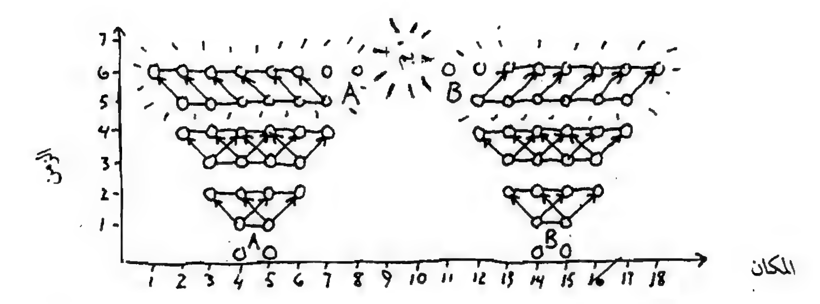
وهناك ما هو أغرب . افترض أن ميكانيك الكم نظرية تامة . عندئذ يكون من شأن حقيقة الإلكترون الثاني ، وأعني بحقيقته امتلاكه خاصيتي الموضع والاندفاع اللازمتين لذلك ، أن تتعلق باختيارنا للقياس الذي نجريه على الإلكترون الأول . وهذا شيء غريب جداً لأن هذين الجسيمين لم يكونا قط متجاورين تجاوراً يكفي لكي يؤثر أحدهما في الآخر .

وعلى هذا حاول أ . ب . ر أن ينفوا عن ميكانيك الكم سلطته الحاكمة على الحقيقة . فكمال النظرية الكمومية يجب أن يعني قدرة الأجسام ، التي تفاعلت فيما بينها من قبل ، على الاستمرار في التأثير بعضاً على بعض بعد أن يتم الانفصال . لكن نظرية أينشتاين في النسبية الخاصة تصبح عندئذ حجر عثرة على هذا الطريق . والواقع أن اعتراض أ . ب . ر اللاحق أصبح يعرف باسم شرط « انفصالية أينشتاين separability » .

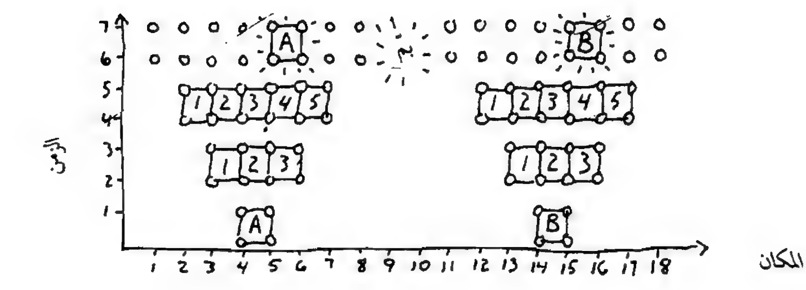
ولإدراك خطورة قبول كمال نظرية الكم ، كما وصفها أ . ب . ر ، سوف نفحص أيضاً كيف يمكن لهذه النظرية أن تطيح بنظرية أينشتاين في النسبية الخاصة . ولا يقتصر الأمر ، لدى الإطاحة بالنسبية الخاصة ، على التخلي عن نظرية أخرى . بل يصل إلى حد التخلي عن الأساس الضروري لكل فهم منطقي وسببي للحقيقة الفيزيائية . وهذا شيء خطير حقاً .



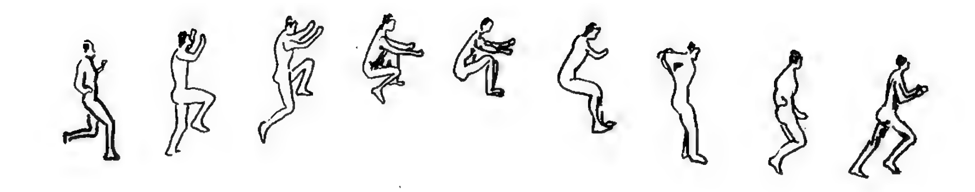
بقع الارتياب: تبين البقع كيف ينتشر الجسيمان في الزمان والمكان بعد أن يعانيا «ترابط أينشتاين». إن اندفاعي الجسيمين وموضعيهما غير معينين، ومع ذلك هما مترابطان.



هنا البقع «الاندفاعية» مترابطة بأسهم تبين الاندفاع الكامن لكل جسيم. إن اكتشاف «*A*» باندفاع نحو اليسار يخلق «*B*» باندفاع نحو اليمين.



هنا البقع «الموضعية» مترابطة ومرقمة من أجل كل موضع كامن. إن اكتشاف «*A*» في أي موضع مرقّم على اليسار يخلق «*B*» في موقع يضاهيه على اليمين.



الفصل العاشر

أسرع من فوتون مُسرع

إن هذا حُلم كله .

إنه ضوء يَرِد على شاشة .

The Moody Blues

أشياء تتراطم في الليل

إن لسرعة الضوء شأناً خاصاً جداً في الفيزياء الحديثة . إنها الحد العلوي ، السرعة الأعلى ، في العالم المعروف اليوم . إن المادة والضوء والإشعاع الكهرطيسي يمكن أن يقال عنها إنها ممنوعة من أن تسير بأسرع من الضوء .

إذا كنتُ مثلاً إزاء كرة تمر أمامي عدة مرات (ككرة مربوطة بخيط تدور حول وتد) وضربتها بقبضة يدي باتجاه حركتها في كل مرور أمامي لزيادة طاقتها أرى أن سرعتها تتزايد بعد كل ضربة . أي أن التسريع يستلزم صرف طاقة . وفي حال كرة الوتد ، أو حتى في رصاصة البندقية ، تتزايد الطاقة بتزايد السرعة ، شريطة أن لا تكون سرعة الجسم قريبة من سرعة الضوء . لأن الجسم ، لو كان متحركاً بهذه السرعة ، لحدث له شيء غريب : إن سرعة الجسم تتوقف عندئذ عن التزايد عندما نعطيه مزيداً من الطاقة . وبدلاً من ذلك تتزايد كتلته ! ويقول أينشتاين بهذا الصدد : « إن السرعات الأكبر من الضوء ليس لها .. إمكانية وجود » . لأن تسريع أي جسم إلى سرعة تعادل سرعة الضوء يتطلب طاقة لا نهائية العظم .

ولكن ماذا يحدث لو كان يوجد جسيمات ذات سرعة أكبر من سرعة الضوء ؟ عندئذ لا تكون هناك حاجة لتسريع هذه الجسيمات من سرعة أقل من سرعة الضوء إلى سرعة أكبر من سرعة الضوء ، بل إن من شأنها أن تظل بكل بساطة تؤزُّ حولنا بسرعة تفوق سرعة الضوء . وطالما كان الفيزيائيون مسحورين بإمكانية وجود جسيمات من هذا القبيل . وقد أطلقوا عليها اسم **التاخيونات** tachyons ، وهي كلمة مستمدة من الكلمة اليونانية تاخي tachy التي معناها سريع .

إن من شأن التاخيونات ، لو كانت موجودة ، أن تقلب ترتيب السبب والمفعول في هذا العالم رأساً على عقب . ولهذا الأمر علاقة بنظرية أينشتاين النسبوية . لنفحص مثالاً بسيطاً . تصور بندقية تطلق الرصاص على هدف . واضح أن على الرصاصة أن تغادر البندقية أولاً وأن تصل إلى الهدف بعدئذ . ولكن افترض أنك استطعت أن تطير ، فور إطلاق الرصاصة ، بسرعة أكبر من سرعة الصوت نحو الهدف . إن سرعتك تفوق سرعة الرصاصة بقليل . عندئذ تستطيع أن تطير مع الرصاصة جنباً إلى جنب تقريباً وأن تراقبها عن كثب . ومن ظرفك المتميز هذا تبدو لك الرصاصة شبه ساكنة . إن الهدف يبدو مندفعاً نحوكا بكل عنفوانه . ولكن هل يمكن أن يكون طيرانك سريعاً لدرجة أن تبدو لك الرصاصة مبتعدة عنك نحو الخلف ؟

إذا كنت من المولعين بالأفلام السينمائية تكون قد رأيت مفعولاً من هذا القبيل عدة مرات . ويكفيك أن تتذكر مناظر تلك العربات القديمة في أفلام رعاة البقر . إن عجلاتها تبدو دائرة بعكس الاتجاه الذي تتوقعه من اتجاه حركة العربة . خصوصاً إذا كانت العربة غير سريعة . إن السبب في ذلك يعود إلى أن سرعة تقدم الفلم عبر جهاز إسقاط الصور أكبر من سرعة دوران العجلات . ومن هذا يتضح أن لا أهمية

لسرعة طيرانك بالنسبة للرصاصة ، فهي ما تزال تتقدم نحو الهدف ـــ هذا رغم أنك من موقعك المتقدم السريع قد ترى الرصاصة تتراجع نحو الخلف .

إن نظرية النسبية تؤكد هذه المشاهدات الرصدية الواضحة . لكن شيئاً عجيباً يمكن أن يقع إذا كانت الرصاصة يمكن أن تُطلق بسرعة أكبر من سرعة الضوء . افترض أن الرصاصة انطلقت بضعفي سرعة الضوء مثلاً . فإذا كنت تطير بأقل من نصف سرعة الضوء ، مثلاً ، لن تلاحظ شيئاً غير عادي . لكنك سترى ، فور أن تبلغ نصف سرعة الضوء ، أن الرصاصة قد انطلقت وضربت الهدف في لحظة واحدة ! والأغرب من ذلك أنك ، فور أن تتجاوز نصف سرعة الضوء ، كنت سترى المشهد كله وكأنه فِلم يُعرض بالمقلوب ؛ كنت سترى أن الهدف قد انفجر رادّاً الرصاصة وكل غازاتها نحو البندقية لتلتئم كلها معاً وتدخل في سبطانة البندقية الضيقة سائرة نحو مكمنها لتنصرَّ كلها في الغلاف وتصبح قطعة واحدة سليمة .

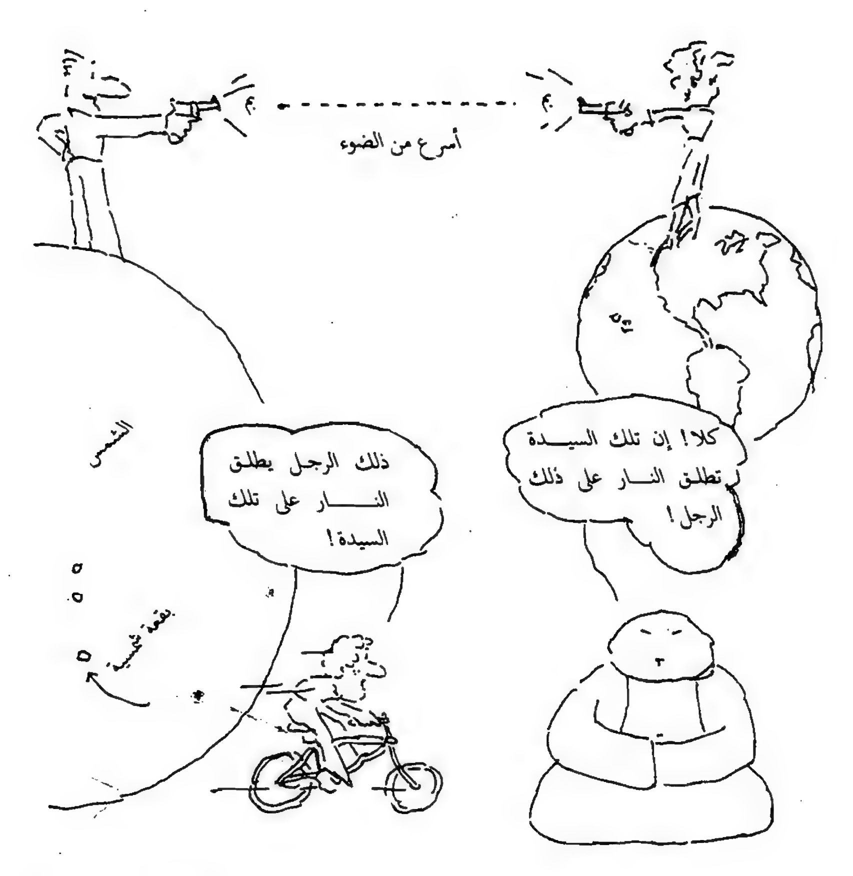
بما أن نظرية النسبية ناجحة في التنبؤ بنتائج الرصد فقد أوليناها ثقتنا . وعلى هذا علينا أن نستنتج أن التاخيونات لا يمكن أن توجد ، بسبب المثال السابق . إن هذا المثال يوضح ما نسميه **انتهاك السببية** ، أي أن يحدث المفعول قبل حدوث سببه .

إن انتهاك السببية جرم خطير في عالم منظم تحكمه القوانين . إن السير بأسرع من الضوء سيظل على الدوام شيئاً يراه بعض الرصاد كانتهاك لقانون السببية (القائل بأن السبب لا بد أن يسبق المفعول) . أي أنهم سيرون الأحداث في مسيرة الجسم السريع تحدث بترتيب معاكس . وليس بالطبع من شأن كل راصد أن يشاهد هذا الموقف الشاذ . فلو كنا ، نحن جميعاً ، متعودين على مشاهد انتهاك السببية لما اصابنا أي قلق من جرائه . كنا عندئذ سنسمي المفعولَ سبباً والسببَ مفعولاً ، وكانت الأفلام السينمائية المعروضة بالمقلوب ستبدو مشاهد طبيعية لو كنا لم نشاهد قط معكوساتها .

لكننا لن نشاهد كلنا الشيء نفسه . إن العالم سيبدو غريباً عندما يراقبه رصاد تيسر لهم أن يتحركوا بأي جزء من سرعة الضوء ، ولو كان ذلك بسرعة 670 ميلاً في الساعة ، أي بنحو واحد فقط من مليون من سرعة الضوء . فإذا كان ، مثلاً ، لتاخيونٍ متجهٍ نحو الغرب أن يمرق بسرعة تزيد قليلا عن مليون ضعف من سرعة الضوء ، تاركاً وراءه ذيلاً في أثناء طيرانه ، فإن الذين يرصدونه من الأرض سيرونه متوغلاً نحو الشمس . اما الذين يرصدونه من طائرة تطير بسرعة 670 ميلاً في الثانية فسيرون التاخيون سائراً نحو الشرق مبتعداً عن الشمس . خرافات الصحون الطائرة !

ما الصحيح في كل هذا ؟ أين يوجد التاخيون ؟ في الشرق أم في الغرب ؟ إن الصحيح ، في عالم الانتهاكات السببية ، موزع في خليط من الخرافات . لا شك أن أينشتاين قد شعر بذلك غريزياً ، رغم أنه لم يعتبر قط أن التاخيونات يمكن أن تكون حقيقة واقعية .

لم يكن أينشتاين بحاجة لذلك . فنظريته النسبوية حررت العلم من أمثال هذه الأجسام الخرافية . فكل شيء فيها يتفق جيداً مع قانون السببية إزاء أجسام تتحرك بأبطأ من الضوء . وفي هذه الأحوال لا يمكن لأحد أبداً أن يشاهد انتهاكاً للسببية . فالأشياء السائرة نحو الشرق سائرة حقاً نحو الشرق .



انتهاك السببية: تناقض وقائع تسببه التاخيونات .

لكن من شأن ميكانيك الكم ، بالشكل الذي فصَّلته محاكات أ . ب . ر ، أن يتيح رصد مقدار فيزيائي في واحد من جسيمين زوجين كانا مترابطين مسبقاً ، رصداً « يخلق » ظهوراً مشابهاً لذلك المقدار في الجسيم الأول . إن هذا الظهور الفجائي لمقدار فيزيائي في جسيم ثان كان سببه حتماً قياس المقدار المشابه في الجسيم الأول . وبما أن الجسيم الثاني قد لا يكون له في ذلك الحين القيمة المعطاة له من القياس المُجرى على الجسيم الأول ، فإن حقيقة الجسيم الثاني منوطة حتماً بحقيقة الجسيم الأول المقيسة .

إن هذا يعني أن « شيئاً » كان عليه أن يذهب من موقع قياس الجسيم الأول إلى منطقة الجسيم الثاني . ويعني أيضاً أن هذا « الشيء » لا ينتقل بسرعة السلحفاة . ولا شيء في ميكانيك الكم يُبطىء ذلك « الشيء » ، مهما كان نوعه وأصله . والواقع أن ميكانيك الكم يبيح ضمنياً لهذا « الشيء » أن يكون قادراً تماماً على السفر بسرعة الضوء أو بأسرع منه . لكن الذي ينتقل ليس ضوءاً . ولئن كان بالإمكان فهم

الضوء واحتواؤه ضمن النظرية ، إلا أن ذلك « الشيء » أعمق غوراً من أن يناله هذا التفسير .

إن الجسمين المترابطين مسبقاً قد يكونان مفصولين ، أحدهما عن الآخر ، بسنين ضوئية . قد يكونان في مجرتين مختلفتين . ومع ذلك ففور أن ننجز رصد أحدهما لا بد أن يكون الآخر قد اتخذ قيمة معينة مهما كان نوع المقدار الذي استهدفه رصد الأول .

ومن محاولة الاعتراض على ميكانيك الكم طرح أ . ب . ر على بساطه سمة أخرى من سماته الغريبة : سمة الارتباط المذهلة بين أجسام كان بينها تماس مسبق ولّى زمانه . كان ميكانيك الكم يدل على أن هذا التماس المنصرم يبيح للأجسام أن تترابط بهذه الطريقة الخاصة ، حتى لو كان قد انقضى زمن طويل على زوال أي تماس مادي بينها .

لقد كانت هذه الأجسام ، من جراء « سببية القنابل الموقوتة » مثلاً ، عرضة للانفجار في كل لحظة دون سبب ظاهر . وكان ، فوق ذلك ، انتقاء أحدها عملية اعتباطية . ولم تكن هناك طريقة ولو لمعرفة أنك فعلت ذلك إذا كانت الأجسام غير ذات تماس مادي فيما بينها . وكل ما فعلتَه كان أنك رصدت شيئاً . فإذا كان هذا الشيء « تماساً كمومياً »مع جسم آخر يكون من شأن الجسم الثاني أن « يشعر » بمفعول رصدك . لقد كان ذلك على غرار أسطورة « الأخوين الملتصقين » اللذين ، إذا فصلت أحدهما عن الآخر ، يظلان يشعران ، كلٌ منهما ، بعواطف الآخر لأنهما كانا في وقت ما « توأمين سياميين » .

هذا ورغم أن أينشتاين كان سيعترض على ذلك فقد أسميتُ هذا « الترابط الكمومي » بين أي جسيمين مترابطين في الماضي « ترابطاً أينشتاينياً » . تذكر أن أينشتاين كان يحاول في نشرة أ . ب . ر أن يفك هذا الترابط بلفت النظر إلى عدم معقوليته . لقد كان له « الشرف » لأنه كان أول من أوضح أن ميكانيك الكم يمكن أن يفضي إلى مثل هذا الترابط الأخرق . هذا مع أن فكرة أن يؤدي رصد A إلى التأثير في B ، عندما يكون A وB مفصولين بسنين ضوئية ، ليست المشكلة الوحيدة .

إن المشكلة في الترابط الأينشتايني هي أن A وB يمكن أن يكونا حادثين في وقت واحد (سنقول متواقتين) . وهذا يعني عندئذ ، بموجب ما تعلمناه من مغامرتنا في عالم التاخيونات ، أن بعض المشاهدين ، ممن يرصدون A وB من موقع مُواتٍ آخر ، يمكن أن يروا أن A سبب B . لكن ترتيب الحادثين يمكن أيضاً أن يُرى معكوساً ، مما يتيح لبعض المشاهدين أن يروا أن B هو سبب A . وهكذا يصبح متاحاً لرصاد متحركين بحركات متخالفة أن يروا ، كل حسب حركته ، الحادثين المتزامنين بترتيبين متعاكسين . ومثل هذين الحادثين لا يمكن أن يكونا مترابطين سببياً ، بأي معنى من معاني السببية المعروفة على الأقل .

لكن ميكانيك الكم يجب أن يحتوي ، إذا كان نظرية تحوي الحقيقة بكاملها ، على ترابط غير عادي بين رصاد الأحداث . وليس من الضروري ، فوق ذلك ، أن نحتاج إلى جسمين كي نستخرج هذا الترابط . والترابط الذي أعنيه يختص بالعلاقة بين كل الأرصاد التي تُجرى في وقت واحد . وهذا ما عُرف باسم **الأرصاد المتواقتة** synchronistic obrervations .

ولئن كان من الممكن أن نستخرج من ميكانيك الكم علاقة تنتشر في الفضاء فتغطي تشكيلة كبيرة من المواقع المتوفرة لرصد الحادث ، فإننا نحتاج ، في سبيل الحديث عن ذلك الترابط المتواقت ، إلى صور لغوية معبِّرة .

التمك والانديا ح والبَمّ

إن من الصعب أن نصنع لغة لهذا الترابطِ الكمومي المتواقت . فنحن ما نزال بصدد أمواج خبرتنا التقـليـدية وجسيماتها . لكنني أشعر أن من المفيد أن نحاول ذلك . دعوني إذن أبدأ بفكرة تابع الموجة الكمومي ، ذلك النوع الذي كان دوبروي أول من تكلم عنه ثم دقق فيه شرودنغر .

فمع أن من شبه المستحيل أن نتخيل أي صورة دعونا نحاول أن نتخيل تابع موجة كمومياً . سوف أسمي هذا التابع باسم « **التمك** » **qwiff** . تصور التمك شيئاً ينداح في الفضاء كمويجة على سطح بحيرة . وسوف أسمي فعل مشاهدة التمك باسم « البَمّ **pop** » وعلى هذا فإن التمكات « تنداح » والتمكات « تبُمّ » . إنها تنداح كما تفعل المويجات على سطح الماء . والتمكات تبمُّ كما تفعل الفقاعات . لكنني أريد من القارىء أن يتخيل أن بَمَّ التمك هو تدمير لانداياح التمك . أي ، بتعبير آخر ، أن التمك نفسه يزول عندما يبمّ . وعندما يوجد ترابط بين جسيمين فإن هذا الترابط يشبه عصابة تمكٍ مطاطيةً تصل بينهما . إن مشاهدة أحد الجسيمين تبمّ التمك وتؤثر في الآخر فورياً . ورغم أن الصورة التي رسمتُها صورة ميكانيكية فهي ليست صـورة فعـل ورد فعـل بسيطـة . فـالتمك تابع موجي كمومي يمكنـه في أحسن الأحوال أن يصف **احتمال** نتيجة الرصد فحسب وليس نتيجة الرصد الفعلية . إنه ليس « شيئاً » حقيقياً ، ولكن يمكن أن نستفيد من تصور أنه شيء حقيقي .

والنقطة الثانية التي سوف تساعدنا في فهم الارتباط المتواقت هو أن نعلم أن انداياح التمك يتصف بصفة رياضية استمرارية . وهذا التوصيف تعطيه معادلة شرودنغر . وبما أن معادلة شرودنغر تعطي أوصاف انداياح التمك ، فإنها تصف كيف يتغير التمك بشكل استمراري . فنحن في موقف عجيب ، موقف من يعلم بيقين كيف يتغيراحتمال تغير الأشياء .

لكن معادلة شرودنغر لا يمكنها أن تخبرنا عن نتيجة الرصد الفعلية . إنها عاجزة عن أن تخبرنا أين ومتى يبمّ التمك . ولا توجد وسيلة رياضية استمرارية تصف بَمَّ التمك . فكل بَمٍ تصدعٌ فجائي ، انقطاع عن الماضي ، انتهاك لقانون السبب والمفعول . وكمثال على ذلك نذكر استمرارية وزن القصيدة رغم كموم تفعيلاتها وقوانينها .

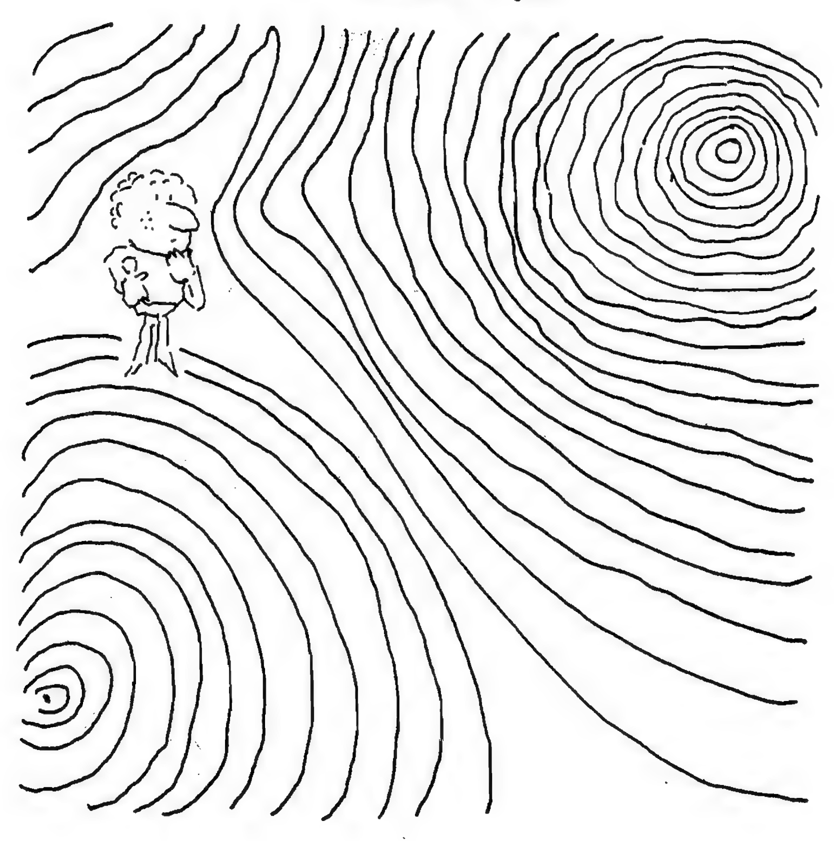
إن التمك غير المرئي ، في صورة أمواج لا تنتهي ، ينداح في الزمكان بأسلوب منطقي تماماً . فالتمك الذي يصف ، مثلاً ، فوتوناً صادراً عن نجم يبعد عن الأرض أربع سنوات ضوئية له صورة حركية بسيطة جداً . وهذه الصورة تتخذ شكل موجة كروية ، تجعدات موجية لا نهاية لها تنداح نابضة من مركز النجم

كحراشف البصلة . وكنسخة ذات بعدين من هذه الحادثة تنشأ حين ترمي حصاة على سطح ماء بحيرة راكد .

إن الراصد على سطح الأرض يمكن أن يفكر ، مثلاً ، بإمكانية وجود نجم في نقطة ما من الفضاء . تصور أن النجم غير مكتشَف وأنه يصرخ طالباً النجدة ، بقصد أن يُعثر عليه . إنه يرسل تمك فوتون واحد ينداح في الفضاء كله . لا شك أن كل نقطة من سطح موجته نقطة اكتشاف ممكن . لكن لا يوجد في العالم كائن ذكي يمكن أن يعرف ذلك . عندئذ ينتفخ سطح الموجة متوسعاً ، لكن الموجة تضعف كلما ازداد اتساع سطحها . وقد تعثر ، إذا توسعتْ جداً كنفاخة الطفل المتضخمة ، على كائن ذكي .

وفجـأة يمُّ على الأرض شيء في « عقل » راصدنا المفكر . وكبرقة خاطفة ، أسرع من الضوء ، « يرى » الراصد ضوء النجم . وفي هذه اللحظة يتغير التمك تغيراً عنيفاً كنفاخة وُخزت .-نقول عندئذ إن

تمكات، اندياحات، بُمات: نتخيل ما لايمكن تخيله. فنرى عقل شخص شاب وعالماً مفعماً بالتمكات.

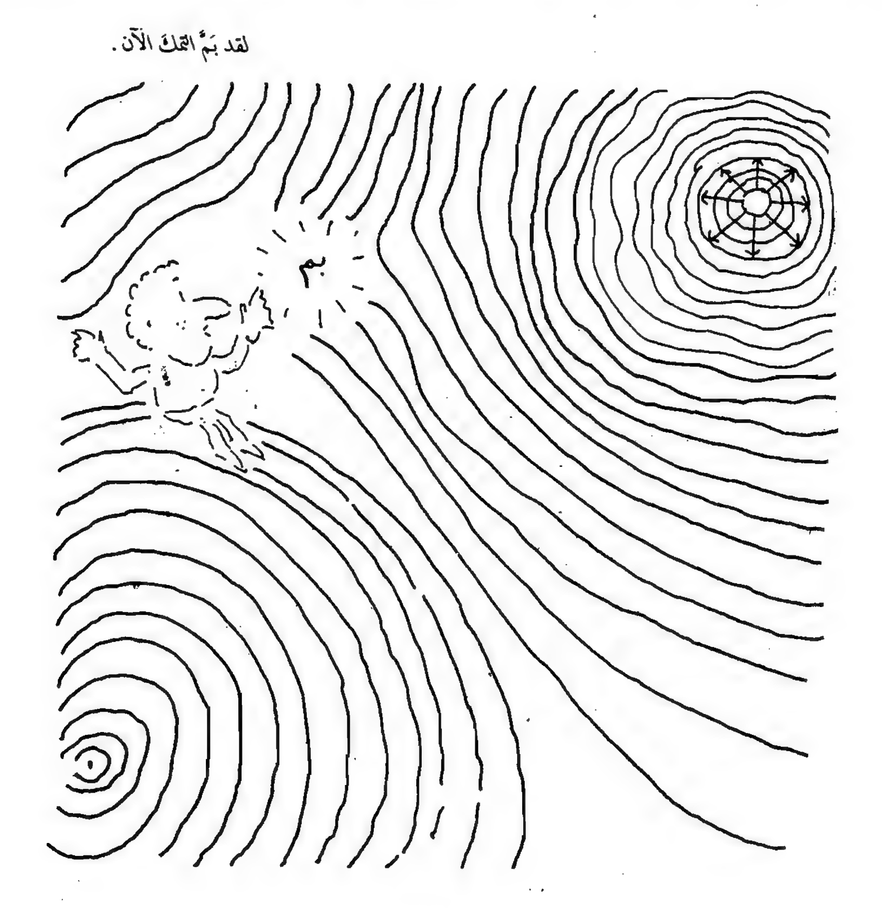


الفوتون قد وصل . لقد ظهر ذكاءٌ في مسرح الأحداث . لقد حدثت فيه معرفة . إن المعرفة قد تغيرت . إن تمك الفوتون الفرد ، الذي كان ينداح على كرة بلغ نصف قطرها أربع سنوات ضوئية ، قد تقلص إلى حادث ذري مفرد في شبكية عين الراصد . إن هذا الحادث ــ تقلص تابع الموجة من كرة قطرها ثماني سنوات ضوئية إلى نقطة مفردة في شبكية عين المشاهد ــ هو تغير يعم العالم كله في لحظة مفردة واحدة .

وفي أثناء ذلك ربما كان يوجد راصد آخر ، B ، يبحث عن ضوء ذلك النجم . هب أن الراصد B كان بانتظار البرقة الخاطفة وهو على سطح كوكب آخر يبعد عن النجم أربع سنوات ضوئية أيضاً ولكن في الجهة الأخرى من النجم ، الجهة المعاكسة لجهة الراصد A . إن من شأن B أن لا يشاهد المسرحية لأن A قد بمّ التمك . إن A قد غير الاحتمال في العالم كله حين رأى الضوء .

لكن A وB كان لهما كليهما ، قبل أن يكتشف A شيئاً ، حظان متساويان في اكتشاف النجم . أي أن الفوتون ، في عالم تسكنه التمكات ، كان بشكل خفي كامناً في موضعين معاً ــ قرب A وقرب

لقد بمّ التمك الآن .



B في الوقت نفسه . بل الحق أنه كان ، بشكل كامن وفي وقت واحد ، في كل نقطة من كرة التمك تلك . وآنذاك رأى A ضوء النجم .

إن الرؤية لم تغير الحقيقة لدى A فقط ، بل قد غيرت الحقيقة لدى B أيضاً وبالسرعة ذاتها بالضبط . وقد يُغرينا أن نقول إن A قد تصرف كسبب وأن B أصبح المفعول في هذا التغير . ولكن يجب أن لا نتعجل في الحكم على ذلك . إذ يمكننا ، بنفس الدرجة من المنطق ، أن نقول بأن فشل B في مشاهدة الفوتون كان السبب فيما حدث لدى A . لماذا ؟ لأن B قد غير فورياً أيضاً ، في لحظة معرفته بعدم وجود الفوتون ، الاحتمال من الإمكانية إلى عدمها . وعلى هذا فإن A وB ، كليهما وعلى حد سواء ، كانا مسؤولين عن تقلص التمك .

إن فورية « انفقاع » (بمّ) التمك لا تبدو مطيعة لقوانين السبب والمفعول المعهودة . لأننا ، بسبب فورية حادثي A وB ، لا نستطيع أن نقرر أيهما تحكَّم في الآخر . إن الأمور تجري كما لو كانت الأذهان أطفالاً جائعين متحفزين كلهم بانتظار أن يلتهموا أول تمك يمر بهم . والمشكلة أن الملتهم الأول لا يترك شيئاً للباقين ـــ وإلا كان بفعل عدم معرفته قد خلق متعةَ معرفةٍ لآخر سواه .



نرى النتيجة : وصل فوتون نجم إلى شبكية عينه .

إنني ، في خيالي الجامح ، أتصور الله جل جلاله في مركز الكون برمته يُهيئ موائد كمومية معرفية تضم كل أنواع اللذائذ السحرية المستقبلية التي تتخذ شكل تمكات رائعة . والتمكات تنداح في هذا العالم بأسرع من الضوء ، تسافر في الزمن باتجاه المستقبل والماضي . وتَصدر وصايا الله جل جلاله ، كتلك الأم الرؤوم توصي أولادها : « كلوا ، كلوا يا أولادي . هذه أطعمة رائعة لذيذة ، إنها لآلىء حقيقية » . لكننا ، واحسرتاه ، أُناس وَجِلون جداً مما يمكن أن يقع . إننا نتطلع إلى هذه الروائع ونندب حظنا ، نخاف أن نضحك أمام دعابات الواحد الأحد ، نخشى أن نطعم من الطعام الجديد خوفاً من عسر الهضم .

والأدهى من ذلك أن تمكات الله تتمُّ بأي فعل ذكي مهما كان فجاً أو بدائياً . إن لآلئ المعرفة العظيمة تلتهمها عقول مختلّه وتُحيلها بالتكهن إلى حقائق كأفلام الحرب النازية السيئة التي تغذي أذهان الكثيرين من شعب عديم الإحســاس والشعور . إن دعابات الله الخالدة تتكرر متخذة شكل عظات وروايات في الكتب المقدسة ورؤى صوفية . لكنها تصادف مع الأسف عقولاً سخيفة تشوهها .

لكن العقول ليست كلها سخيفة . بل إن منها ما ينزع إلى المعرفة العلمية . وقد كان أن جاء بلانك وأينشتاين ونُظراؤهما الآخرون على مدى التاريخ الماضي ، وما يزال التاريخ مستمراً . وتبين لهؤلاء العظماء وجود نظام في هذا العالم . ولكن من الذي ابتدع هذا النظام ؟

على هذا الأساس ، ومن وجهة نظر قد تكون كونية ، يوجد ترابط بين الراصدين A و B .لكنهما قد لا يعرفانه أبداً . فقبل أن يُجري A و B رصديهما كان التمك كلاً لا يتجزأ منداحاً في مدى فضائي واسع . وقبل أن يشاهد A ذلك الفوتون الفرد لم يكن يوجد انفصال موضوعي بين A و B . لقد حصل هذا الانفصال عندما شوهد الفوتون .

قد يصل بالطبع إلى الراصدين تمك فوتوني آخر بعد قليل . وقد يشاهد A الضوء مرة أخرى . لكن التمك لا يحابي أياً من الراصدين . لأن B له الحظ نفسه في رؤية هذا الفوتون ولو شاهده فعلاً لغيّر وجه الحقيقة لدى A للحظة واحدة فقط . ثم يأتي الفوتون الثالث ، ثم الرابع وهكذا . ويعاني كل تمك فوتوني تغيراً من جهتيه شبه المتقابلتين في فضاء هذا العالم الواسع . وفي هذه التواليات المتلاحقة من المشاهدات يرى كلا الراصدين ، A وB ، أرجاء العالم الواسعة .

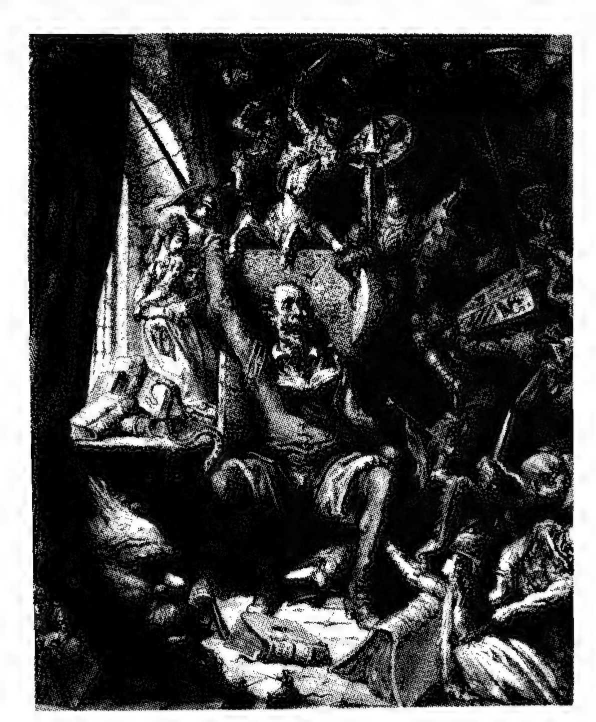
ولدى مشاهدة العالم يشوش كل راصد « كُلّية » العالم السليمة . وبعملية الرصد يفصل كل راصد نفسه عن بقية مافي هذا العالم . إنه يكتسب من جرائها معرفة ، لكنه يدفع أيضاً لهذه المعرفة ثمناً . ذلك أنه أصبح وحيداً ومعزولاً أكثر فأكثر . وربما كان هذا هو المقصود من شجرة المعرفة في جنة عدن . كانت القضمة الأولى من التفاحة حلوة ، لكنها كانت غالية الثمن . إن عيوننا مفتوحة ونرى أننا وحيدين .



إن الله يخلق كل التمكات منداحة وأنت تخلق كل ما تبمه منها.

الفصل الحادي عشر

كسر العالم غير المكسور



« دون كيشوت » للرسام دوره : دون كيشوت يُسقط « الداخلي هنا » في « الخارجي هناك » ويجد أن عالم التخيل أقرب إلى الحقيقة مما كان يتصور .

« تكون أو لا تكون »

ليس هو السؤال ،

إنه الجواب .

Fred Alan Wolf

عندما يصبح الاثنان واحداً

لقد حدث أول تماس عملي لي مع ميكانيك الكم عام ١٩٥٨ . كنت آنذاك تلميذاً مجازاً بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس أتابع دراستي في الفيزياء المتقدمة . كان أحد الكتب المطلوبة في دراسة ميكانيك الكم كتاب ديفيد بوم D. Bohm : نظرية الكم . كان كتاباً جامعياً غير عادي . وكتب الفيزياء الجامعية ، كما لا حظت دون شك ، كتب جافة جداً عادة ومفعمة بدساتير تبدو عصية على الفهم وتظهر كأن الآلات هي التي ابتدعتها ، لا البشر .

لكن كتاب بوم كان يشذ عن هذه القاعدة . كانت كلماته أكثر عدداً من دساتيره . كان يعالج مسائل تنتمي إلى موضوعات تبدو غير ذات علاقة بالفيزياء . كان من بين الموضوعات التي تناولها بوم والتي كان لها أثر كبير في تفكيري الشخصي عناوين مثل : « وحدة العالم التي لا تتجزأ » ، « الحاجة إلى توصيف غير ميكانيكي » للطبيعة ، « مبدأ الارتياب وجوانب من عملياتنا الفكرية » ، « مفارقة أينشتاين وروزن وبودلسكي » . وفي عام ١٩٧٣ سنحت لي فرصة قضاء سنتين كباحث زائر في قسم الفيزياء من معهد بيركبك بجامعة لندن . وفي أثناء هاتين السنتين كان لي عدة مناقشات مع الأستاذ بوم الذي كان رئيس فرع الفيزياء النظرية في بيركبك .

كان بوم يُطلق على الترابط الكمومي المتواقت الذي يخرق قانون السببية اسم « اللا موضعية nonlocality » . وقد كتب في نشرة لاحقة ، شرحها فيما بعد بيزيل هايلي B.Hiley ، يقول :

> إن الصفة الجديدة الجوهرية التي ينطوي عليها ميكانيك الكم هي اللا موضعية ، أي أنه لا يمكن تحليل منظومة إلى أجزاء لا تتعلق خصائصها الأساسية بـ .. كلية المنظومة ... إن هذا يقود إلى الفكرة الجديدة جذرياً ، فكرة الكُلّية غير المكسورة للعالم بتمامه .

كان ميكانيك الكم حافزاً لمثل هذه الأفكار . كان الفيزيائيون قد أدركوا أن صورة العالم الميكانيكية لا يمكن أن تكون الصورة المكتملة . لكن السؤال كان التالي : « كيف نستطيع أن نرى العالم ؟ » . فإذا كانت عناصر الحقيقة ، كموضع الجسم أو مساره في المكان والزمان ، عرضة للزوال تبعاً لاختيار الراصد لا يبقى لنا الكثير مما نقتات به .. إن أساس الحقيقة في العالم المادي مفعم بأمثال هذا السلوك الغريب .

هذا لدرجة أن ما نعنيه بكلمتي « مكان » و« زمان » أصبح موضع دراسة جديدة . إن الكلية اللا مكسورة تعني بالضبط ما كانت تعنيه لدى قدماء الإغريق . أي أننا ليس لنا الحق في تفكيكها ، في عزل أجزائها بعضاً عن بعض . وإذا فعلنا ذلك يؤول بنا الأمر إلى أشياء لم تكن محتواة ضمن الكل الأصلي . أي أننا نكون قد خلقنا أشياء بفعل التفكيك . فإذا كان العالم برمته من هذا القبيل فإن الخبرة الجيدة بالمكان والزمان يجب أن تنشأ أيضاً على الدوام من أفعال الرصد .

ولكن ماذا يمكن آن نجد في « الخارج هناك » لو استطعنا بطريقة ما أن نصل إلى الكل دون أن نكسره ؟ هل نستطيع أن نرسل إشارات وأن نستقبلها ؟ إن مفهوم الإشارة نفسه ينطوي في أعماقه على واحد من أقدس آرائنا المسبقة : الرأي المسبق في المكان (الفضاء) . وبهذا الصدد كتب بوم وهايلي :

إننا نلح ، قبل كل شيء ، على أن مفهوم الإشارة في نظرية النسبية يقوم بدور أساسي في تعيين ما نعنيه بقابلية فصل مناطق الفضاء المختلفة . فمن المفترض عموماً ، إذا كانت المنطقة A مفصولة عن المنطقة B ، أنهما يمكن أن تترابطا بإشارات بينهما . والعكس بالعكس : إذا لم يوجد أي انفصال بين A و B ، فإن أية إشارة تربط بينهما يمكن أن تكون تافهة المعنى أو عديمة المعنى . وعلى هذا فإن إمكانية الإشارة تتضمن الانفصال ، والانفصال يتضمن إمكانية الترابط بإشارة .

فإذا كان العالم كلاً واحداً ، كياناً لا يتجزأ ، تصبح الإشارات تافهة المعنى . وفي مدى ما يضمنه ميكانيك الكم من تواصل فوري بين شتى أماكن النقاط على سطح تمكي **لا يمكن** أن نقول عن هذه النقاط إنها متفاصلة . إنها كلها نقطة واحدة ! وفي المدى الذي يتيح لنا أن نقول إنها نقاط متفاصلة في المكان (والزمان) يمكن أن تمر إشارات فيما بينها . وعلى هذا فإن راصدينا ، A وB في مثالنا السابق ، منفصلان (يمكن أن يتواصلا بإشارة عادية ، أي أبطأ من الضوء) وغير منفصلين في آن معاً (إن مشاهدة A تؤثر فورياً في حقيقة B وفي حقيقة A على حد سواء) .

قد يكون من الصعب أن تفهم كيف يمكن لمنطقتين من الفضاء مختلفتين جداً أن تكونا منفصلتين وغير منفصلتين في آن واحد . فلتصور هذا الوضع بوضوح أحسن دعونا نعد إلى مثالنا القديم : « مفارقة المكعب » . تذكر إذن أن الرسمة يمكن أن نُرى بطريقتين متتامتين : كمكعب ذي أضلاع نافرة أو كرسم تجريدي ذي خطوط ونقاط . افترض الآن أننا إزاء مكعبين من هذا القبيل في الفضاء . هب أن كلاً منهما مستقل عن الآخر تماما . وافترض الآن أن راصدين يأتيان إليهما وأن كلاً منهما يرصد (أو ترصد) مكعباً واحداً . هنا لا يوجد ترابط ظاهر ، لا بين المكعبين ولا بين الراصدين ، مما يجعل ترتيب الرصدين يظهر اختيارياً تماماًعندما تجري المقارنة بينهما . فمثلاً ، قد ترى الراصدة الأولى ، في البدء ، مكعبها بوجهه السفلي أمامها ، وبعد قليل تعود فترى الوجه العلوي أمامها .

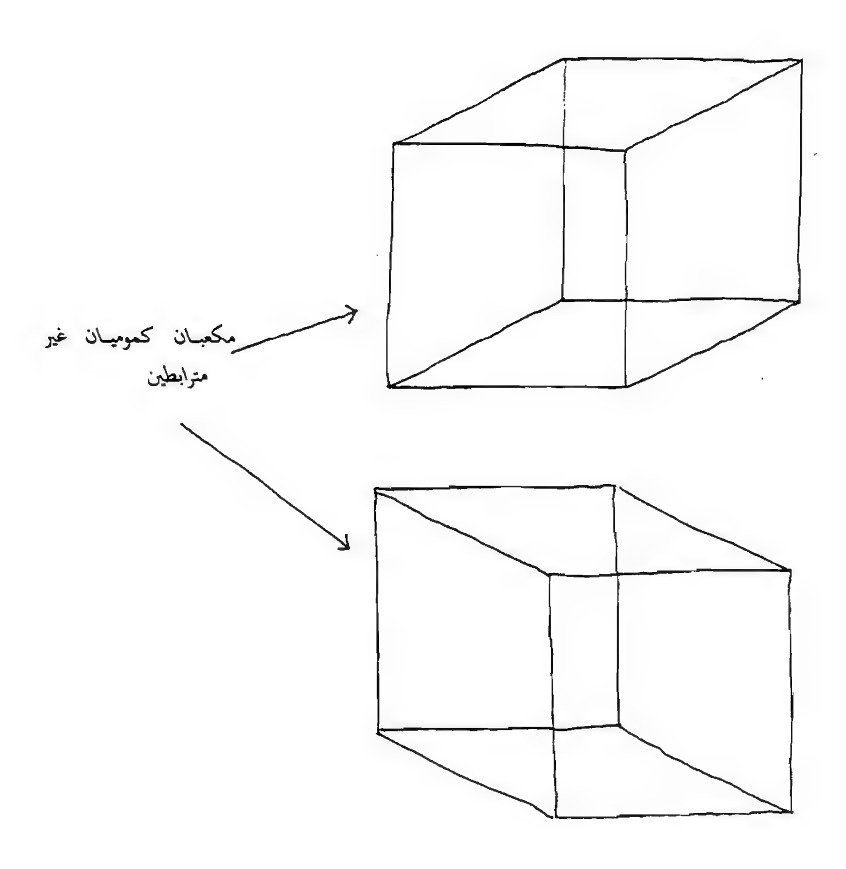
وربما ترى فيما بعد رسماً تجريدياً ذا خطوط ونقاط . هب الآن أنها أعطت الرمز ع للمكعب عندما ترى وجهه العلوي أمامها ، والرمز س عندما ترى الوجه السفلي أمامها ، والرمز ر عندما ترى رسماً غير ذي وجوه . قد يكون عندئذ ترتيب الأرصاد فرادى على النحو التالي :

ر ر س س ع س ع ع ع ر ع س ع س ع

كما أن الراصد التالي قد رتب رؤى « مكعبه » الاعتباطية فكانت بالرموز نفسها كمايلي مثلاً :

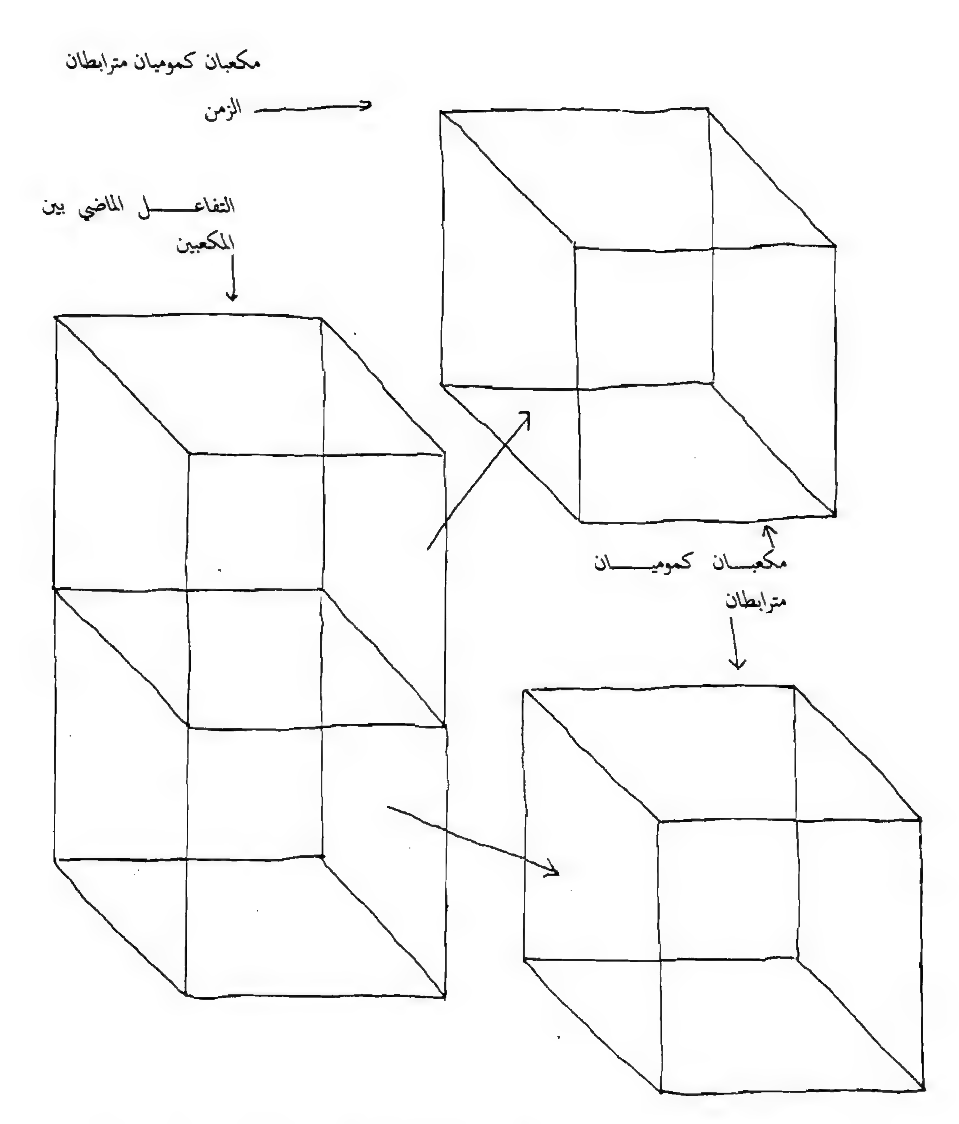
ع ر ر ع س ر ع س ر ر ر س ع ع ر ع

فلدى مقارنة هذا الترتيب بذاك نستطيع أن نعلم إذا كان يوجد أي ترابط بينهما أو تشابه . ولكن



بما أننا في هذه الحالة لا نملك أي سلطة على اختيار الراصدين ، أي عندما يظهر وجه بذاته من المكعب في الأمام ، لا يوجد أي دخل لأي من الراصدين في ترتيب أرصاد الآخر . قد نعثر بالطبع على التطابقات بالمصادفة هنا وهناك ولكن لن يوجد ترتيب معين للاثنين .

ولكن دعونا نفترض الآن أن بين المكعبين كان يوجد تفاعل ماض ، فأصبحا بهذا الافتراض مترابطين . إننا هنا أمام ظرف يشبه مفارقة أ . ب . ر . والواقع أن بوم كان قد استخدم ترابطاً من هذا القبيل بين جسيمين دوّارين على نفسيهما كي يشرح الترابط ، فتبين أن اتجاهي الدورانين المرصودين للجسيمين مترابطان. هب الآن إذن أن المكعبين المتفاعلين سابقاً قد شوهدا. لا توجد هنا أيضاً وسيلة للتحكم في اختيارات الراصدين . فكل راصد (أو راصدة) حرٌ في اختيار المنظر الذي يريد رؤيته : مكعباً أو خطوطاً ونقاطاً . ولكن إذا اتفق لكليهما أن يختارا رؤية المكعبين كمكعبين ، فقد يظهر تطابق بين ترتيبي أرصادهما . هب مثلاً أن الراصد الأول رأى الترتيب التالي : **ع س س ع س س ع س س ع ر ر س س ع ع س س ع ع س س ع ع ر** . إن الراصد الثاني سيرى ترتيباً مطابقاً لهذا الترتيب . أي ،



بتعبير آخر ، أن كليهما سيرى المكعب بالطريقة نفسها بالضبط . هذا مع أن أياً منهما لن يشعر بأن الآخر يحكم حريته في الاختيار بين العينات والسينات والراءات .

إن الترتيب الذي شاهده كل راصد ترتيب عشوائي : إنه يظهر هكذا لوهم الراصد . ولا يستطيع ، مثلاً ، أي من الراصدين أن « يفرض » رؤية من النوع س للمكعب . ومع ذلك ، فعندما تجري مقارنة الترتيبين يكون عدد التطابقات طاغياً . أي أن الأمور تجري كما لو كان الراصدان يريان كلاهما الشيء نفسه . بل قل إن الراصدين موجودان كما لو كان لهما عقل واحد وأن هذا العقل الواحد يرصد مربعاً واحداً فقط .

ومع ذلك هناك عقلان ومكعبان . إن « وحدتهما » لا تظهر إلا بعد أن يقارنا ما سجلاه ويشاهد كل منهما ترتيب مشاهدات الآخر .

أنا هذا العالَم كله

إن هذه « الصلة الكمومية » فيما بين الأشياء كلها يمكن أن توفر طريقة يستطيع أن يفهم بها البشر كل شيء . إن كل نقطتين في المكان والزمان هما منفصلتان وغير منفصلتين في آن واحد . وسرعة الضوء تضع حداً علوياً لقابلية الانفصال في المكان وفي الزمان . فعندما تكون النقطتان مترابطتين بإشارات تسير بأبطأ من الضوء تكون النقطتان منفصلتين . أما عندما تبلغ الإشارات سرعة الضوء فإن الإشارات تبدأ بفقدان معناها . ذلك أن نظرية النسبية تقول بأن المكان والزمان يتلاشيان معاً من أجل جسيم الضوء (الفوتون) . إن هذه النتيجة التي تتعارض مع الحدس البدهي تأتي مباشرة من نظرية أينشتاين النسبوية الخاصة ، وهي ناجمة عن واقع أن سرعة الضوء ذات قيمة ثابتة على وجه الإطلاق . أي أن الراصد الذي يقيس سرعة الضوء من مصدره إلى مورده سيجد لها القيمة نفسها مهما كان شأنه ونوع حركته وحركة مصدر الضوء ومورده بعضاً بالنسبة لبعض .

فإذا كانت سرعة الضوء ثابتة حقاً في كل الظروف فإن مقادير المسافات والأزمنة ، التي كنا نظنها ثابتة ، لم تعد ثابتة ، أي أن المكان والزمان نسبيان ، بمعنى أن الفاصل الزمني ، ولو بدا لنا بالبداهة ثابتاً ومهما كانت قيمته ، يمكن أن يتبين بالقياس المرصود لدى راصد آخر أقصر أو أطول ، وهذا أيضاً شأن الأطوال أو المسافات المكانية .

وبموجب هذه النظرية فإن الميقاتيات المتحركة تتباطأ دقاتها والقضبان المتحركة تتقلص . والتباطؤ والتقلص هذان يتزايدان بتزايد سرعة أي من الميقاتية والقضيب . إن حدي هذين المفعولين النسبويين يتعينان بسرعة الضوء . فميقاتية الفوتون ، لو كان له ميقاتية ، تُقصَّر لدرجة أن تتوقف عقاربها عن الحركة ويتوقف الزمن عن المرور ، كما أنه يرى المسافات كلها ، بين أي نقطتين ، متقلصة حتى العدم . أي أن النقطتين تظهران للفوتون نقطة واحدة في « الآن » المتجمد .

وفيما بعد سرعة الضوء يصبح الغرض ، أو الوعي ، حراً تماماً من قيود المكان والزمان . إنه يستطيع أن « يقع » في أي وقت ، ماض أو مستقبل . يستطيع أن يرتاد كل المواضع في لحظة . فكل النقاط في العالم تصبح أن تكون بيتاً له . لكن ميكانيك الكم يبتكر معنى لهذه الفكرة الشاعرية . إن العالم فيه ليس مجرد مجموعة من النقاط المنفصلة فيما بينها . إنه يكون كما يكون بالنسبة للراصد ولما يفعله . ومن تطابق « الكلية الكمومية » للعالم مع الراصد « يصبح » الراصد مرصوداً . إن الراصد هو ما يراه .

لقد أصبح شرودنغر ، بعد ظهور نشرة أ . ب . ر ، مهتماً جداً بنوع الحقيقة التي يرسمها ميكانيك الكم . وما لبث أن قدم أفكاراً كثيرة في هذه الجوانب الفلسفية .

يقال إن شرودنغر خاطب نيلز بور قائلاً : « إذا كان على المرء أن يُخلص لهذه القفزة الكمومية اللعينة ، فإنني سأندم طوال عمري على انغماسي في هذا الموضوع » . فأجابه بور قائلاً : « لكننا ، نحن الآخرين ، شاكرون لك جداً انغماسك فيه ، لأن أعمالك كان لها شأن كبير في تقدم هذه النظرية » . وفي محاولة للتوفيق بين البيولوجيا (علم الحياة) وبين ميكانيك الكم كتب شرودنغر فيما بعد متسائلاً : « ما الحياة ؟ » وفي نشرتيه الطويلتين ، تحت عنوان « رأيي في العالم » ، ظهر شرودنغر في صورة صوفي متأثر جداً بالآراء الشرقية . ففي نشرته الأولى ، التي كتبها عام ١٩٢٥ **قبل** أن يبتدع معادلته ، كتب ما يلي :

> إن حياتك الشخصية التي تعيشها ليست مجرد قطعة من كامل هذا الوجود ، لكنها « الكل » بمعنى ما . وكل ما في الأمر أن هذا الكل ليس مصنوعاً بما يتاح اكتشافه من لمحة واحدة . وهذا ، كما نعلم ، هو ما عناه البراهميون في تلك العبارة الصوفية المقدسة التي هي مع ذلك بسيطة جداً وواضحة جداً : **TAT TVAM ASI** ، إن هذا هو أنت . أو أيضاً في كلمات مثل : « أنا في الشرق وفي الغرب . أنا تحت وفوق . **أنا هذا العالم كله** » .



« الباذر » للرسام فان غوغ : الراصد يصبح المرصود . إنه أنت . إنني « العالم ــ الأنا » .

كانت كلمات شرودنغر من قبيل النبوة حقاً ، رغم أن نبوته ربما كانت آنئذ عقيدة قائمة بذاتها ، لأنه ابتدع فيما بعد الوسائل الرياضية التي من جرائها أصبح الفيزيائيون الكموميون ينظرون إلى العالم بهذا المنظار . وأنا أحب أن أرى في هذه المقولة ، مقولة « إنني هذا العالم كله » ، مبدأ ينطلق منه التفكير الكمومي . إنني أرى فيه العقل الأحد رائياً نفسه ومتقبلاً مفارقات ظروفه . إن كل شيء على الإطلاق منسجم مع القفزات الكمومية .

إني أسمي موقف الكلية الذي اتخذه شرودنغر باسم **الأنانة الكمومية quantum solipsism** . والأنانة عقيدة تقول بأن الذات (الأنا) هي الشيء الوحيد الذي تتاح معرفته والتأكد من وجوده ، وما من شيء أكيد سواها . وفي الأنانة الكمومية كل شيء متعلق بك . إنك تبتدع العالم كله ، إنك « العالم — الأنت » . كيف تتدبر ذلك ؟ الجواب هو : باستخدام عقلك . ولفهم العملية ننظر في هندسة البناء الذي هو تمك عقلك .

هندسة التخيل : التمك

إن الأسئلة النابعة من نظرة إلى العالم ذاتية الارتكاز ليس لها أجوبة يمكن أن تُدرك بسهولة . حاشا بها أن تكون كذلك . إذ لو أن العالم موجود بشكل غير وطيد موضوعياً ولا مسبق الوجود قبل أن أظهر على المسرح ، فما العالم إذن ؟ يبدو أن الجواب الأحسن هو أن العالم شيء كامن وغير حاضر بدوني ، أو بدونك ، لمشاهدته أو رصده . إنه في جوهره عالم شبحي يتمُّ إلى وجود وطيد في كل مرة يرصده أحدنا . إن شتى أحداث العالم العديدة كلها حاضرة بشكل كامن ، قادرة أن تكون ، لكنها لا تُرى ، أو تُحَسُّ ، فعلياً إلى أن يراها أحدنا أو يُحِسَّها .

إذا تقبلنا هذه الصورة (على غرابتها) فإن كثيراً من الحوادث ، الغامضة قبلئذ ، تظهر قابلة للفهم . ولكن دعونا ، قبل أن ندرس بعض الأمثلة ، نفحص بعض المفاهيم الأساسية . فمن منطلق فهمنا الحالي للحقيقة التقليدية يبدو أن هناك نوعين من الحقيقة مختلفين أساسياً .

النوع الأول من الحقيقة سوف أسميه « الخارجي هناك » . إنه يتألف من الخبرات والاحساسات والأحداث التي نتفق ، أنا وأنت ، على أنها حدثت خارجياً . الورقة تسقط من الشجرة ، السيارة تتوقف عند الضوء الأحمر . فإذا اتفقنا معاً على أن حادثاً أو سلسلة حوادث قد وقعت ، فإننا نعني أن الحادث ، أو السلسلة قد وقعا في « الخارج هناك » . إنني أعلم أنه يوجد بعض « الضعف » في تعريفي هذا ، إنه مقصود وتقريبي . لأن الهلوسة ، أيا كانت ، يمكن أن تُصنَّف ، بموجب هذا التعريف ، في حقل الحقيقة « الخارجية هناك » . لكن معظم « الخارجي هناك » يمكن تكراره وقياسه . وعندما يتكلم الفيزيائي عن الحقيقة فإنه يعني « الخارجي هناك » .

لكن يوجد أيضاً حقيقة ثانية ، نوع ثان ، حقيقة نعرفها كلنا جيداً . إنها عالم عقولنا . إن الكثير

من الحوادث في هذا العالم لا يتفق مع خبرتنا الشائعة عن « الخارجي هناك » . سوف أُسمي عالم العقل هذا باسم « الداخلي هنا » ، وهو يتألف من أفكار وأحلام وصور تشبه « الخارجي هناك » أو تستخدم رموزه . إن الحروف والأعداد رموز من « الخارجي هناك » لكنها قد انطبعت في « الداخلي هنا » . ففي العالم « الداخلي هنا » يتخذ السحر مكاناً ومن الصعب أن نجد له مرتكزاً فكرياً آخر . وغالباً ما توجد صلة مباشرة أو تقابل مباشر بين حوادث « الداخلي هنا » (من أفكار وأحلام ورموز) وحوداث « الخارجي هناك » (تلك التي نراها أو نحسها أو نتذوقها أو نشمها أو نسمعها) . وهنا أيضاً يوجد بعض الضعف في تعريفي هذا . فالشخص الذي يمشي وهو نائم قد لا يحس بالحوادث التي تقع له إلا وكأنها أحلام . وفي هذه الحالة يكون مشي النائم حقيقة من عالم « الداخلي هنا » . وعندما يتكلم العالِم النفساني عن حقيقة العقل فإنه يقصد « الداخلي هنا » .

والآن يوجد في ميكانيك الكم حقيقة ثالثة ، ولها خصائص من الحقيقة « الداخلية هنا » والحقيقة « الخارجية هناك » . وإنني أرى أن هذه الحقيقة الثالثة جسر يصل بين حقيقة العقل وحقيقة المادة . وبسبب احتوائها على خصائص منهما معاً فإنها حقيقة سحرية وذات مفارقات . إن السببية فيها موجودة بحذافيرها ، أي ، بتعبير آخر ، تتجلى فيها قوانين السبب والمفعول . والمشكلة الوحيدة هي أن الأشياء التي تُطيع هذه القوانين ليست أجساماً (على الأقل ليست من أنواع الأجسام العادية التي نتكلم عنها عادة) بل أشباح ! وهذه الأشباح ذات مفارقات بكل معنى الكلمة ؛ إنها قادرة على أن تظهر في مكانين أو أكثر ، مهما بلغ عدد الأمكنة ، وفي وقت واحد . وعندما تُستخدم هذه الأشباح في توصيف المادة تصبح شبيهة جداً بالأمواج . ولهذا السبب أُعطيت في بادىء الأمر اسم « الأمواج المادية » . أما في الاستخدام الحديث فتسمى « توابع الموجة الكمومية » أي ما أطلقنا عليه اسم التمكات . وقد أسميناها توابع لأنها تتعلق بشيئين آخرين للقيام بعملها . وهذا الشيئان هما المكان والزمان . إن التمكات تتغير ، وتتغير بطرائق مرتبة جداً ، طرائق سببية ما دمنا لم نتناولها بالرصد . إنها تشبه جداً عفاريت وَرِشة .

لو استطعنا ، بوسيلة ما ، أن نراقب التمكات دون أن نراقبها بالفعل بتاتاً — لأن أرصادنا تشوش تلك العفاريت الكمومية — لرأينا مناظر عجيبة رائعة . إذ قد نرى مثلاً عفريتاً كمومياً ينقسم إلى عفريتين كل منهما نسخة طبق الأصل عن العفريت الأول في نزواته وتصرفاته . كما أنها يمكن أن تنضم بعضاً مع بعض وأن تُحصى ، لكن على شاكلة أشباح تستطيع أن ترى من خلالها ؛ وربما أصبحت بانضمامها ، أحياناً ، لا شيء بتاتاً !

كل شيء أو لا شيء بتاتاً : كيف نجمع التمكات

دعونا نتخيل كيف نستطيع أن « نرى » ما يحدث في الحقيقة الثالثة . تذكر أننا لا نرى ، أو لا نرصد ، بالفعل العملي لأننا لو فعلنا ذلك لرأينا ما نراه عادة . إن هذا يشبه تماماً « مفارقة المكعب » ؛ فرؤية « المكعب » بشكل مكعب مُجسَّم تمثل طريقتنا « العادية » في رؤية المادة ، إنها رؤية لا أشباحَ

فيها ـــ جسيمات عاثرة الحظ تبُمُّ وتقفز كمومياً . لكن « رؤية » «المكعب » في الحقيقة الثالثة من شأنها أن تجعله بصورة نقاط وخطوط . وبمعنى ما ، تكون « الرؤية » في الحقيقة الثالثة رؤيةَ انضمام (تراكب) الطريقتين العاديتين في رؤية المكعب في الحقيقة « الخارجية هناك » .

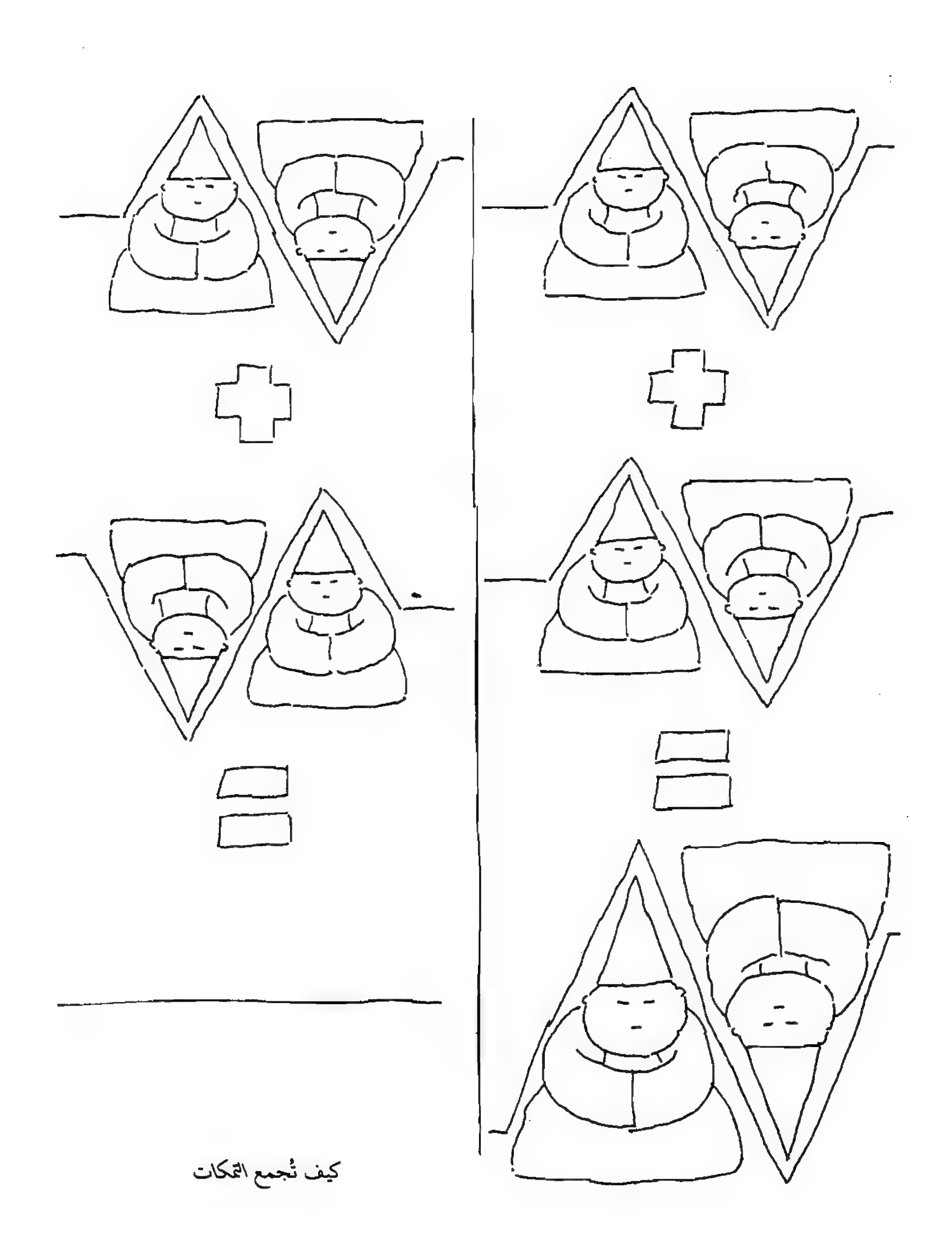
يُسمي الفيزيائيون طريقة الرؤية هذه باسم **مبدأ التراكب أو الانضمام** superposition principle . وقد كنا صادفنا هذا المبدأ عندما كنا ندرس تداخل الموجات . وقد استخدم دوبروي هذا المبدأ أيضاً عندما صنع للإلكترون في ذرة بور موجة تشبه « ثعباناً يعض ذيله » ؛ كما أن أمواج شرودنغر هي مثال آخر عن فكرة التراكب الموجي ـــ أي انضمام موجة مع موجة أخرى . وصادفنا أيضاً الفكرة نفسها عندما عرضنا مفهوم بور للمثنوية موجة / جسيم . إن الصفة المميزة لهذا التراكب الانضمامي هي أن جمع الواحد مع الواحد يمكن أن يعطي صفراً أو اثنين أو أي عدد آخر بينهما ! ونحن سنجمع الآن ، أو قل سنضم معاً ، تمكيْن . وفي التوضيحين التاليين يلبس البوذيان (وهما يرمزان معاً إلى تمك واحد) قلنسوتين مؤنفتين وأحدهما مقلوب رأساً على عقب . ضع في ذهنك أن المقلوب رأساً على عقب هو معكوس الآخر . فعندما ينضمُّ زوج (بوذيان) بوذي مع زوج بوذي آخر ، كما في القسم الأيسر من الشكل ، فإن كلاً منهما ينفي الآخر وتكون حصيلتهما صفراً ، فنقول إن **تداخلهما تدميري** . أما إذا كان الوضعان النسبيان كما في القسم الأيمن من الشكل ، فإن كلاً منهما يعزز الآخر بالانضمام وتكون الحصيلة زوجاً (بوذيين) مضخماً فنقول إن **تداخلهما بنّاء** .

ففي القسم الأيسر ينضم التمكان معاً ، أو يتجمعان أو يتراكبان ، فلا يعطيان شيئاً البتة . أما في القسم الأيمن فينضمان معاً ليعطيا تمكاً أضخم بمرتين . فإذا اعتبرت أن التمك العلوي ، في كل من القسمين ، فكرة وأن التمك السفلي في القسم الأيسر فكرة معاكسة عندئذ يمكن لك أن ترى في الانضمام التمكي الأيسر مفعولاً يُبطل فكرة سلبية ، بينما ترى في الانضمام التمكي الأيمن مفعولاً يعزز اليقين في الفكرة الأصلية . ذلك أن الأفكار تتصرف كالتمكات . وبما أن التمكات موجودة في عقلك على شاكلة المكان والزمان نستطيع أن نلمح كيف تتجلى أفكارنا عملياً في العالم الفيزيائي . إن الفكرة هي التي تخلق التمك . لأن التمك هو معرفتنا بالعالم ، والأفكار الإيجابية عن العالم تخلق العالم كمسرح إيجابي يجب أن يكون . أما الأفكار السلبية النافية فتعمل بالاتجاه المعاكس خالقة عالماً سلبياً . والتمكات تطيع قوانين السبب والمفعول . إنها تتبع توصيفاً رياضياً . وقد اختُرعت معادلة شرودنغر لتعطينا هذه الأوصاف .

وللتمكات خاصية سحرية ثانية : إنها غير قادرة على الانضمام معاً والتلاشي فحسب ، بل إنها تستطيع أيضاً أن تتضاعف وتظهر في مكانين أو أكثر في وقت واحد .

مكانان في وقت واحد : تمكات متشابكة

إن الصفة الثانية للسحر التمكي غريبة لدرجة أن الذين اكتشفوها قاوموا فكرة قدرة التمكات على التشابك أو التضاعف وعلى أن تعطي نتاجاً في أكثر من مكان في أية لحظة . وكل نتاج يمكن أن يظهر



كيف تُجمع التمكات

كنسخة طبق الأصل . فكيف تتفرع التمكات ؟ إنها تتشابك من جراء تفاعلها فيما بينها . ولماذا تتشابك ؟ كي تستعلم بعضاً عن بعض .

لقد اهتم شرودنغر بالسحر التمكي وبمفارقة أ . ب . ر وكان أن توصل إلى كتابة مقالة تعطي اوصاف التشابك والتضاعف في التمكات . وهذه المقالة ، كمعظم مقالاته الأخرى ، كانت مليئة بتعابير مجازية تعج بالحيوية . فقد كان مهتماً بما يحدث حين يتفاعل جسمان معاً ــ جسمان حقيقيان . ماذا يحدث لتمكيهما ؟ كان شرودنغر يُطلق على التمكين اسم **ممثلي الجسمين** representatives of Objects ، أي أن كلاً منهما يمثل جسمه بما يشبه كثيراً تمثيل السفير لبلاده . ماذا يحدث للجسمين عندما يلتقيان ؟ إنهما يتشابكان كما يتصارع ، في بعض الأفلام السينمائية ، ممثلو الولايات المتحدة مع ممثلي الاتحاد السوفييتي(*) . وبهذا الصدد كتب شرودنغر يقول :

> عندما تدخل منظومتان ، نعرف حالتيهما عن طريق ممثليهما ، في تفاعل فيزيائي مؤقت ناجم عن قوى بينهما نعرفها ، وعندما تعودان إلى الانفصال إحداهما عن الأخرى بعد فترة من تأثير متبادل ، عندئذ لن نستطيع أن ننعتهما بالأوصاف التي كانت لهما من قبل ، أي أن نحتفظ لكل منهما بممثله الخاص . ولا أريد أن أقول إنها السمة **الوحيدة** لميكانيك الكم ، بل هي بالأحرى الصفة المميزة **الكبرى** له ، الصفة التي تعزز الفرق بينه وبين طريقة التفكير التقليدية . إن ممثليهما [تمكيهما] قد أصبحا متشابكين بالتفاعل الذي حصل . وفك التشابك يقتضي ان تُلمَّ بمعلومة إضافية ،. رغم أننا نعلم كل ما يمكن لأي امرئ أن يعلمه عن كل ما حدث .

فماذا يعني شرودنغر عندما يقول بأن علينا أن تُلمَّ بمعلومة إضافية برغم أننا نعلم كل ما يمكن أن نعلمه عن المنظومة ؟ وكيف نستطيع أن نضيف إلى معلوماتنا شيئاً يزيد عن كل ما يُتاح لنا أن نستطيع معرفته ؟

قطة شرودنغر في صندوق

إن الطريقة الوحيدة التي يمكن أن نتبعها لزيادة معلوماتنا زيادة تفوق كل ما يتاح لنا أن نستطيع معرفته هي أن نراقب المنظومة . لأن أفعالنا تشوشها . إن المنظومة تتعلق بنوع السؤال الذي نطرحه عليها . ويُشبّه شرودنغر المنظومة الكمومية بتلميذ مرهق لكنه لامع جداً . إن التلميذ اللامع يعطي دوماً جواباً صحيحاً عن السؤال الأول المطروح عليه ، لكن من شانه أن يصبح تعباً بعد المجهود الذي بذله ولدرجة أن يعطي دوماًجواباً غير صحيح عن السؤال الثاني . وليس لترتيب السؤالين أي شأن في هذا الأمر .

إن سؤالي شرودنغر المطروحين على الطالب يشبهان السؤالين اللذين يطرحهما الفيزيائي على الطبيعة

(*) قبل انفراط عقد الاتحاد السوفييتي طبعاً وتحول الصراع بينهما إلى تواطؤ . (المترجم)

لمعرفة الموضع والاندفاع . إن اندفاع المنظومة يتفق عادة مع توقعاتك شرط أن تقيس الاندفاع أولاً . وعلى غرار ذلك يتفق الموضع عادة مع توقعاتك شرط أن تقيس الموضع أولاً . أما المقدار الذي يُقاس ثانياًفهو ، في الحالين ، لا يتفق عادة مع التوقع . وفي المثال التالي ستكون حياة قطة في صندوق موضع رهان .

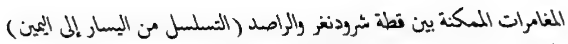
تصور صندوقاً مغلقاً يحوي ذرة واحدة من مادة مشعة . يقال عن هذه الذرة إن لها **نصف عمر** يساوي ساعة واحدة . وهذا يعني أنك لو أخذت قطعة من هذه المادة تحوي عدداً كبيراً من هذه الذرات فإن نصف هذا العدد سيظل بعد ساعة من الزمن على ما كان عليه . أما النصف الآخر فقد « تفككت » ذراته فأصدرت كل منها جسيماً في الوسط المحيط . وهذا يعني أن الذرة الواحدة ستكون ، بعد ساعة من الزمن ، إما سليمة على حالها وإما أن تكون قد خسرت جسيماً ، وذلك باحتمالين متساويين .

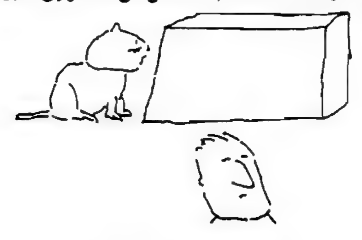
تصور بعدئذ أن الجسيم الصادر عن الذرة المفردة في الصندوق يصدم خلية تتحسس به فتغلق دارة كهربائية من شأنها عندئذ أن تكسر حُقاً صغيراً ينطلق منه غاز سامّ فيملأ الصندوق . إن هذا الغاز يُميت أي كائن حي موجود في الصندوق لحظة صدور الجسيم عن الذرة . والآن تصور أننا كنا قد وضعنا في الصندوق قطة لا تدري لماذا وضعناها هنا (أعتذرُ من أصدقاء الحيوانات ، إن الذنب ذنب شرودنغر) . فإذا انتظرنا بعدئذ ساعة واحدة ، ماذا سنجد في الصندوق ؟ قطة حية أم قطة ميتة ؟

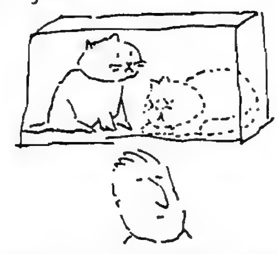
من الذي يتحكم بمصير القطة ؟ إن ميكانيك الكم يقول : **أنت** ــ إذا كنت أنت من كُتب عليه أن يفتح الصندوق وأن يشاهد القطة . إنك في بادىء الأمر مستقل عن القطة وهي مستقلة عنك . ولكن بمرور الزمن ينشأ في الصندوق نسختان ممكنتان من تملك القطة : نسخة الموت ونسخة الحياة . إن نسخة الموت يزداد احتمالها بمرور الزمن ويتناقص احتمال نسخة الحياة . وفور انقضاء ساعة واحدة يتساوى احتمالا النسختين في الصندوق .

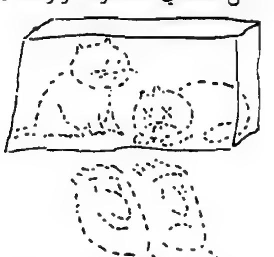
إن اكتشاف قطة ميتة في صندوق ليس مهمة ممتعة . وبذلك تظل أنت « ذا عقلين » ما دمتَ تنتظر فتح الصندوق . أحد العقلين سعيد برؤية القطة حية والآخر حزين برؤيتها ميتة . إنها بالضبط حالة من انفصام الشخصية . إنها حالة أصبح فيها العالَم عالَمين (افهم ذلك كيفما استطعت) : أحدهما فيه القطة حية وأنت سعيد ، والآخر فيه القطة ميتة وأنت حزين . إنك في ذلك الوقت لا دخل لك بانشقاق العالم هذا . لقد حدث هذا الانشقاق بسبب تفاعل حدث بين القطة والذرة في الصندوق المغلق : إن التفاعل ، قطة ــ ذرة ، قد خلق الانشقاق . أما فيما يخصك أنت بمفردك فلا يوجد سوى عالم واحد وأنت فيه !

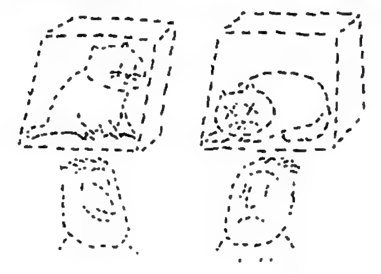
ولكن ماذا يحدث عندما تفتح الصندوق ؟ في لحظة الاتصال هذه بين العالمين ، عالمك وعالم الصندوق ، ينهار ميكانيك الكم ، فلئن كنت أصبحت على يقين من أنك ستعرف مصير القطة فور أن تفتح الصندوق ، فإنك لا تعرف بوضوح كيفية حدوث هذه المعرفة لديك ! ومن الجدير بالملاحظة أنه ليس من الممكن أن نتنبأ ، باستخدام الفيزياء الجديدة ، باكتشاف واقع بسيط . إذ لا يوجد أية طريقة رياضية للتنبؤ بحالة القطة بل إن معرفة ذلك تقتضي أن تشوش الصندوق بفتحك إياه . إن هذا هو ما عناه

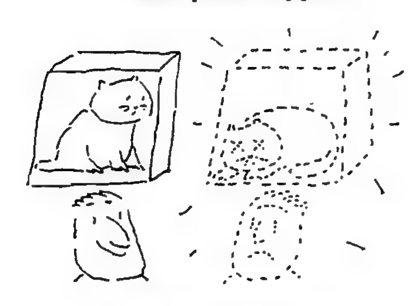

المغامرات الممكنة بين قطة شرودنغر والراصد (التسلسل من اليسار إلى اليمين)

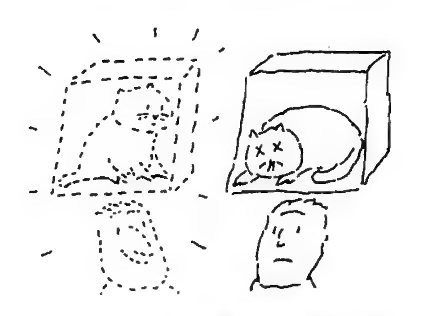

تدخل القطة في الصندوق . والراصد ينتظر


القطة في الصندوق . تمك القطة الميتة يتزايد مع الزمن .


هنا يتساوى تمك القطة الميتة مع تمك القطة الحية . والراصد أيضـاً في «عقلين» .


هنا فصلنا ، بغية التبسيط ، العقلين والتمكين .


لقد تم التمك : يوجد قطة ميتة .


لقد تم التمك : يوجد قطة حية .

شرودنغر بجملة « تُلِمُّ بمعلومة إضافية » . فبالرغم من أن التوصيف الرياضي يُخبر عن كل ما يستطيع إلا أنه ناقص .

لكن السؤال الذي مازال يقرع آذاننا هو : ماذا يجب أن نفعل لإتمام ميكانيك الكم ؟ إن بور وهايزنبرغ يجيبان : لا شيء . إنها نظرية تامة بقدر الإمكان . إننا ، نحن ، المسؤولون عما ينقصه . إن لنا في هذا الشأن دوراً أساسياً . ولكن هل نحن المسؤولون عن ذلك حقاً ؟

ربما كان الدور الذي نؤديه مبالغاً فيه . وقد يوجد في الأمر ، بدلاً من ذلك ، عوامل خفية تتحكم في سلوك الأجسام الكمومية العجيب . وربما كان هناك تفسيرات أخرى . وسنفحص في الفصل القادم مجموعة من التفســيرات المختلفة . إن كل هذه التفسيرات تنبع من محاكاتات أ . ب . ر القديمة . إن الاستمراريين لم يستسلموا بعد .

الفصل الثاني عشر

أنا لا أخفي شيئاً

قد لا يكون هناك شيء يُسمى
« آلية مركزية في هذا العالم » .
ربما كان السحر ، لا الآلية ،
أحسن وصف للكنز الذي ينتظر .

Lohan A. Wheeler

في أحد أفلام لوي بونيل الشهيرة ، ثمن الحرية ، يوجد مشهد يعرض الثورة الفرنسية من زاوية جديدة : يصرخ الثوريون : « لتسقط الحرية ! نريد الاستبداد أو الموت ! » . حقاً ، إن ثمن الحرية غال . وتلك الحاجة القديمة للأمان تكتسح أمانينا في حياة مثالية . ألسنا كلنا نريد أن نوقن أن شيئاً ما يتحكم بنا ؟ ألسنا كلنا نبحث عن شيء أعظم منا نحن البشر الفانين ، شيء خفي ، شيء مسؤول عن كل شيء ؟

لا غرابة إذن في أن يبحث الفيزيائيون الكموميون عن متحولات خفية ، عن عوامل خبيئة تعود بالفيزياء الكمومية من دنيا السحر إلى الدنيا الموضوعية ، دنيا عاديّات الأمور . هل يوجد نظام خفي ؟ هل كان أينشتاين وصديقاه ، بودولسكي وروزن ، على حق حين قالوا بأن ميكانيك الكم نظرية ناقصة ؟ وإذا كانوا على خطأ ، فما هو ذلك الشيء الذي يُسمى « حقيقة » ؟ هل هو — كما يوحي بذلك عنوان أحد كتب روبين ويليام : الحقيقة ، يا لها من فكرة ! — مجرد فكرة ، مجرد شيء نتوهمه ؟

يبدو أن الجواب كان حتى حوالي عام ١٩٦٥ : لا أحد يدري . والواقع أنه لم يعلم أحد كيف يطرح السؤال بشكل محسوس . وقد وُضعت على بساط المناقشة عدة نظريات ذات « متحولات خفية » أشهرها نظرية ديفيد بوم ، وزملائه فيما بعد ، لكنها ، مع ما فيها من براعة ، لم تستثر سوى بعض الحماس من الفيزيائيين الذين كانوا آنئذ أكثر انشغالاً بتطبيق ميكانيك الكم على العلوم الناهضة آنذاك ، كالفيزياء النووية ، إلى أن جاء جون بيل J.Bell .

كان جون بيل فيزيائياً عمل في مركز ستانفود وفي مركز الأبحاث الأوربي وفي جامعة وسكنسن . وقد نشر في أول عدد من مجلة اسمها الفيزياء مقالة عنوانها « حول مفارقة أينشتاين وبودولسكي وروزن » وذلك بعد ثلاثين عاماً من نشره أ . ب . ر . لقد عرض بيل محاكمته بشكل نظرية وبرهن على أن كل محاولة للعثور على متحول خفي في أعماق ميكانيك الكم محكوم عليها بالفشل . أي ، بتعبير آخر ، لا يوجد شيء خفي . ونحن نعيش في عالم زنّي (*) ولا سلطان علينا .

إن بحثنا عن سلطة خفية ، عن نظم خبيئة علينا أن نذعن لها كلنا ، هو جزء من طبيعتنا البشرية . كان رتشارد فاينمان أول من أدرك صلتها بميكانيك الكم . فقد وجد أن الجسيم يمكن أن يظل جسيماً ولو استطاع أن يسلك مسارين أو أكثر في وقت واحد .

البحث عن النظام الخفي

عندما شاهدت للمرة الأولى رجل المانشا ، المسرحية الموسيقية المستمدة من رواية سرفنتيس ، دون كيشوت ، أصابني اضطراب عميق . فأنا أيضاً كان لدي أحلامي المستحيلة . وأنا أيضاً كنت أشعر أنني

(*) الزنّية فرقة بوذية تؤمن أن بميسور المرء أن ينفذ إلى طبيعة الحقيقة بالتأمل . (المترجم)

مُعدّ لعظائم الأمور . كنت أحلم بأن أصنع من حياتي شيئاً مهماً في هذا العالم . ربما جائزة نوبل على علاج للسرطان . كان حلمي أن أصحح أخطاء العالم . كان عقلي يُحلّق في أحلام اليقظة .

وما أزال أفعل ذلك . أبحث عن النظام الخفي في هذا العالم الكوني ، أودّ أن أعرف كيف صنعه الله جل جلاله . لا أقنع بحدودي ، حدود الإنسان الفاني . « أريد أن أعرف ، يا إلهي ، أريد أن أعرف (أرني كيف تحيي الموتى) » ، هكذا « تفجّع » المسيح عليه السلام . إن هذا قدرنا كلنا عندما نعي وجودنا ككائنات ذات عقل خارق .

إن لي شيئاً اسمه « أنا » والأدهى (ربما الأحسن) أنني فيزيائي . لقد عُلّمت أن « أرى » العالم من خلال أجزائه كل على حدة ، بطريقة السبب والمفعول يؤثر أحدهما في الآخر . كنت أعتقد ، في بحثي العقلاني عن نظام العالم ، أن كل شيء لا بد له من سبب . كنت أمارس لعبة الصح والخطأ ، الخير والشر ، وكذلك — وهذا أهم شيء ، لأنني علمي — لعبة النظام والفوضى .

آه لو كانت أحلامي ذات معنى فحسب ! إن مفهوم المعنى يستند إلى حاجتنا ، كمجتمع وكأفراد ، لعالم السبب والمفعول ، عالم الحقيقة الموضوعية . إن الحقيقة الموضوعية حلم . وهذا الحلم (ربما سماه بعض الناس كابوساً) لم يدم طويلاً جداً . فنحن الآن نكاد نستيقظ منه . ولكن هل ستكون خبرتنا القادمة هي الحقيقة الحقة ؟ أم ستكون هي الأخرى حلماً آخر ، مجرد عالم آخر تصنعه أحلامنا ؟ إن



« نومٌ ساحر » للرسام دوره : هل الحياة مجرد حلم ؟ وإذا كانت حلماً فمن الحالم ؟

الخيـال هو ذلك الشرود ، ذلك الحلم ، ذلك البحث عن النظام الخفي الذي نظن كلنا أنه قابع وراء الحقيقة التي نشأنا متعودين عليها كلنا ، واجهة الحياة .

إن تطلُّعنا إلى النظام الخفي ظل يلازمنا منذ زمن بعيد جداً . فمنذ نهاية القرن الأول بعد الميلاد كان هيرون الاسكندري يتساءل عن النظام . وربما كان ذات يوم يتنزه مع صديقته في ضوء الشمس على ضفة إحدى قنوات النيل . وربما خطر في عقله سؤال عندما راقب صورتها المعكوسة في الماء . لماذا يظهر خيال صديقتي في الماء قادماً من تحت الماء وبالضبط في موضع كموضعها ؟ ثم رسم مسار الأشعة الضوئية في عقله واكتشف نظاماً مثيراً بعيد الغور : إن العالم الكوني مقتصد في تصرفه ، إن الأشعة الضوئية تسلك دوماً أقصر طريق في الانعكاس لتصل إلى عينه .

وبعد ألف وخمسمئة عام كان بيير فرما P.Fermat يتسلى بقطع زجاج صغيرة وبضوئنا المقتصد . فرأى أن الضوء ينعطف عندما يخترق سطح الزجاج قادماً إليه من الهواء ، أو من الهواء إلى أي وسط شفاف آخر . إن كلاً منا قد لاحظ حتماً أن أنبوبة مص السوائل ينعطف اتجاهها عند دخولها في ماء الكأس .

لقد تساءل فرما عن سبب انعطاف الضوء لدى دخوله في الماء . وما لبث أن وجد الجواب . إن الضوء ليس مقتصداً فحسب ، بل وعَجول أيضاً . إن الضوء يختار أقصر الطرق زمناً للذهاب من منبعه إلى العين ، حتى لو كان عليه أن يخترق عدة طبقات من أوساط كاسرة . وهكذا تبين أن حزمة الأشعة الضوئية التي تصل إلى عيوننا تنعطف وتتلوى كي تختصر الزمن في الوصول من منبعها إلى مصبها . يا له من شيء مُطمْئِن !

وفي ذلك العصر تقريبـاً كان الفيزيائي الألماني ، كريستيان هويغنز ، يتفكر ملياً في فرصـة ربانية سانحة . كان قبل ذلك قد صنع مرقاباً (تيلسكوباً) مُحسَّناً استطاع أن يرى به حلقات زحل بوضوح . ربما كان هو الآخر معجباً باقتصادِية الضوء . ولكن إذا كان الضوء مقتصداً حقاً فكيف يعلم أنه كذلك ؟ أي ، بتعبير آخر ، كيف يعلم الضوء ، حين يشرع في مسيرته ، أن الخطوة التالية التي سيخطوها هي في الاتجاه الصحيح ؟

كانت نظرة هويغنز إلى الضوء تختلف عن نظرة أسلافِه . كان يتصور أن الضوء يسير سير الأمواج ، أن كل جبهة موجية هي نسخة طبق الأصل عن الجبهة التي وراءها ، كما تتداح الاضطرابات على سطح البحـيرة . لكن هويغـنز كان يرى أكثر من هذا . كان يتصور أن كل جبهة موجية مؤلفةٌ من محطات صغيرة ، تُعدُّ بالآلاف والملايين ، يمر بها الضـوء وهي مصطفـة كلها على محيط دائرة الموجة كصف العسكر . وكل جندي في هذا الصف يُصدر نبضة ، صرخة في معركة الزحف ، صرخة ضعيفة تكاد لا تُسمع ، لكنها تصنع بانضمامها كلها معاً دوياً عظيماً .

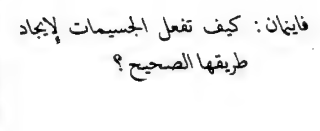
إن كل صرخة مكبوتة ترسـل مويجة دائرية ذات قمم ضئيلة ووديان ضحلة تسير معاً في المكان والزمان . لكن تضـافر الصرخات كلها لا يعزز الموجة ويعلي من شـأنها ، قمماً ووديانـاً ، إلا في الاتجاه العمودي على خط الجبهـة . أما في الاتجاهات الأخرى فتحدث اختـلاطات وتصـل الأصوات بشكل

عشـوائي فوضـوي . إن على الجنود أن يتقدموا على طول المسـار الأقصر زمناً ، المسـار الذي يمكن أن « يُسمع » : إلى الأمام فقط .

لقد استخدم هويغنز خياله ، وما زالت طريقته هذه في بناء الموجة تستعمل حتى اليوم في دروس تعليم الضوء . يا لها من صورة ــ إنها مجرد حيلة ميكانيكية . الحق أن الضوء ليس عليه أن يعلم شيئاً كي يتصرف . إنه يستشعر كل الطرق الممكنة للذهاب من منبعه إلى مصبه كي يختار أقصرها زمناً . ويفعل ذلك بإرسال مويجات صغيرة تتلمس المسارات في كل الاتجاهات المتاحة . وبهذه الطريقة يتجلى المسار الأقصر زمناً من تلقاء نفسه ، أما المسارات الأخرى فتضيع في ضجيج الاختلاط وتشرد قمم المويجات ووديانها على غير هدى .

إنها فكرة عظيمـة . إنه لشيء جيد أن يكون الضوء موجة . لأنه لو كان غير ذلك ــ لو كان جسيمات حقاً ــ كيف نستطيع أن نفسر سلوكه ؟ تلك كانت أفكار فاينمان التي ابتدعها في أطروحة الدكتوراه عام ١٩٤٠ ، أي بعد هويغنز بنحو ثلاثمئة عام . لقد اكتشف فاينمان شيئاً سحرياً .

لقد اكتشف فاينمان أن الجسيمات التقليدية ، ككرات المضرب وكرات البلْيار ، تتبع أيضاً قانون مسار أصغري منْ حيث شيء ما . وقد تبين أن هذا الشيء هو ما سميناه **الفعل** action ، أي نفس المقدار الذي يصنع ثابتة بلانك الكمومية . فهناك ، في كل تفاعل ، عدد صحيح من وحدات الفعل يمر من شيء إلى آخر . والذي اكتشفه فاينمان هو أن الجسيمات التقليدية تسـلك في العالم المسار الذي يجعل الفعل أصغرياً . ولا أهمية لكيفية حركة الجسم ، إنه يوازن بين طاقات كي يصرف أقل فعل ممكن . إن كل أشياء الفيزياء تسلك سلوكاً اقتصادياً ، فلا تشوش ولا تُخلِ الميزان بين الطاقة الحركية والطاقة الكامنة إلا بأقل قدر ممكن .


فاينمان : كيف تفعل الجسيمات لإيجاد طريقها الصحيح ؟



إن المســار الضوئي الأقصر لدى هيرون ، ومســار فرما الأقصر زمناً في انعطاف الضوء ، وحتى مويجات هويجنز ، تطيع كلها مسار النظم الخفية . إن الضوء يتبع نظاماً . وقد وجد فاينمان أن كل شيء يتبع النظام نفسه ، سواء كان ضوءاً أو كرة مضرب .

إن صنع حقيقة فيزيائية عمليةٌ بسيطة . ما عليك سوى أن تلتزم بالبقاء أقرب ما يمكن من ميزان الطاقتين . أما إذا كانت الأشياء في توازن تام ، فلا شيء يتحرك أو يمكن أن يتحرك بتاتاً ، وإلا كان العالم « مجنوناً » كل الجنون . هل عثرنا إذن على النظم الخفيـة ؟ وهل انتهى البحث ؟ إن العـالم آلة عملاقة يصرِّفهـا رب اقتصــادي ، وإن كان ذلك بجهد قليـل . وبكـلمـات أخرى ، إن العـالم القـانوني عالم اقتصادي ، عالم متوازن .

لقد تبين أن مبدأ الفعل الأصغري هذا أعظم مقدرةً من قوانين نيوتن ، إذ تبين فيما بعد أن قوانين الكهرباء والمغنطيسيـة تخضع ، هي الأخرى كالضوء تماما ، إلى هذا المبدأ . ولكننا عندئذ نتسـاءل مع فاينمان :

> كيف يجد الجسيم طريقه الصحيح ؟... إن كل معلوماتك عن السبب والمفعول تصبح لاغية عندما تقول إن الجسيم يقرر أن يسلك الطريق الذي يضمن فعلاً أصغرياً . هل « يشمّ » الجسيم المسارات المجاورة ليعلم إن كانت تنطوي ، أم لا ، على فعل أكبر ؟

ماذا يحدث إذا أجبرنا الضوء على سلوك المسارات الخطأ ؟ وهل نستطيع ذلك ؟ عندما نخادع الضوء نشاهد ظاهرة تسمى **الانعراج** diffraction ، أي انعطاف الضوء وتداخله مع نفسه . وطريقة عمل ذلك هي أن نسدَّ على الضوء طرقه الطبيعية . وهنا يقول فاينمان :

> عندما نضع حواجز على الطريق بما يُبطل قدرة الفوتونات على اختبار المسارات كلها ، نجد أنها تصبح عاجزة عن معرفة أي طريق تسلك .

قد يبدو غريباً أن نتصور جسماً ضوئياً يضلُّ طريقه . ولكن ماذا بشأن الجسيمات العادية ، ككرات المضرب ؟ وهنا يستمر فاينمان :

> هل صحيح أن الجسيم لا يكتفي « بسلوك الطريق الصحيح » فقط بل يفحص أيضاً كل المسارات الأخرى الممكنة ؟ وهل صحيح أنه إذا وضعنا في طريقه أشياء تمنع عليه الرؤية ، [سيفعل شيئاً يشبه ما يفعله الضوء]... العجيب في هذا كله هو أنه يفعل ذلك بالضبط . هذا ما تقوله قوانين ميكانيك الكم .

إننـا ، بتعبير آخر ، نستطيع أن نجعل المادة تتصرف كالضوء . نستطيع أن نسدَّ بعض الطرق الطبيعية التي تسلكها المادة في الذهاب من هنا لهناك وأن نسبب لها تداخلاً مع نفسها ، ملغية ذاتها كما تفعل موجات الضوء . إن العالم يسلك كل الطرق المفتوحة المتاحة .

كان فاينمان يأمل في أن يكتشف كيف أعطى الله النظم للمادة . فوجد أن كل المسارات الممكنة ، بما فيها المسارات ذات الفعل الأصغري ، تسهم في تاريخ كل جسيم ذري . إن الجسيم يسلك ، من حاضره

إلى مستقبله ، كل الطرق التي يجدها مفتوحة أمامه . وقد شجَّع هذا الاكتشاف هيو إيفيريت H.Everett على صوغ نظرية غريبة بشأن هذا العالم توازي ميكانيك الكم . فبسدِّ الطريق الطبيعي ، الطريق ذي الفعل الأصغري ، يمكن أن نشاهد مفعولات التداخل الكمومية . وباستخدام فكرة « تكامل الطرق sum over the paths » المتاحة للجسيم خلَّصنا فاينمان من كل صورة تستدعي توابع موجية كمومية .

لكن ذلك لم يكن كافياً تماماً . إذ ما تزال المسارات ، أو الموجات ، المتداخلة لغزاً خفياً .

نظرية بيل : بيوت منفصلة ذات أساس مشترك

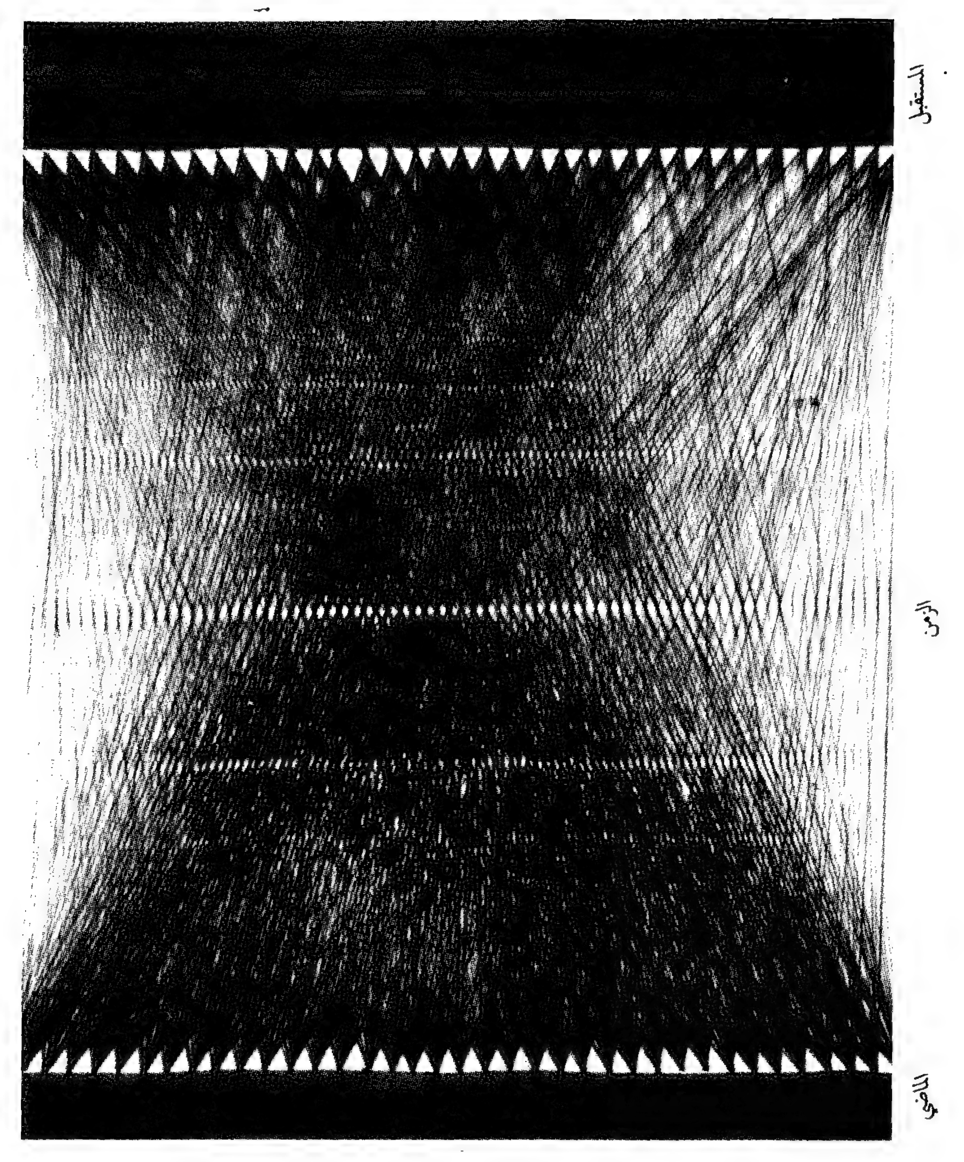
الفيزيائيون بشر . إنهم ، هم أيضاً ، يخافون ويحبون كما يخاف سواهم ويحب . إن حاجتهم للدفء والأمان والجري وراء السعادة لا تختلف عن حاجات أي امرىء آخر . لكن يبدو أن ميكانيك الكم يدمر الأساس من تحت كل معتقداتهم القديمة بخصوص الأمان وبُعد النظر . إن الفيزياء الكمومية ليست نظرية « لطيفة » . ليست بسيطة ولا صريحة . فالفيزيائيون الذين ائتلفوا مع شكليات فيزياء نيوتن المعتادة ينتابهم في معظم الأحيان شعور بالحنق أو على الأقل بالاضطراب من أن ميكانيك الكم لا يقدم أي عزاء للباحثين عن الحتمية في هذا العالم .

إن مفاهيم الفيزياء التقليدية ، ككل المفاهيم الفيزيائية ، لا تتمتع ، مع الأسف ، بالمناعة ضد مقذوفات التجربة وسهامها . فقد نجد نظرية جميلة وأنيقة ، لكنها إذا لم تصمد أمام الوقائع تكون مجرد خطأ محض . هل للفوتون ، الذي صدر منذ عدة سنين عن نجم ناءٍ متجهاً نحو عيني ، وجود إذا كانت عيني غير موجودة لتراه ؟ إنه سؤال من مخلفات عصر الألغاز القديم ، « إذا هوت إلى الأرض شجرة في الغابة ولم يكن هناك إنسان يسمع دويَّها ، فهل يكون لها دوي ؟ » . إن الجواب يبدو بدهياً : نعم ، إن لها دوياً . والفوتون موجود حتماً ، كالأمواج الصوتية من الشجرة الهاوية ، سواء وُجد الراصد أم لم يوجد . هذا ، على الأقل ، هو الجواب إذا كنت تعتقد بالفيزياء التقليدية .

ولكن مهلاً ! يبدو أن ميكانيك الكم غير موافق . إنه يدّعي أن الفوتون يأتي إلى الوجود بشكل بقعة على شبكية عيني عندما أراه فقط . لقد « أُجبر » الفيزيائيون ، بدرجات متفاوتة ، على تقبل هذه الفكرة الخرافية بسبب مبدأ الارتياب الذي يُنكر الوجود على كل جسم له ، في آن واحد ، موقع مكاني ومسار محدد . ولكن هب أن مبدأ الارتياب ليس سوى سمة من سمات عجزنا . هب أنه يوجد عالم فيزيائي حقيقي خارجي ولكننا ، لسوء الحظ ، نُفسد حقيقة الأشياء عندما نتدخل في شؤون العالم بغية استكشافه . ففي مجال ما لا تشعر به وسائلنا وطرائقنا يوجد عالم برمته خفي . والفيزياء الكمومية لا تنكر أن لنا دوراً في كل عملية قياس . فهل يمكن أن يوجد نظام أعمق وأخفى يستند عليه ميكانيك الكم ؟

ربما كانت تلك أفكارَ ديفيد بوم في أوائل الخمسينات . كان بوم قائد جوقة أولئك الذين ناصروا فكرة أينشتاين في إله غير مقامر ونشطوا في البحث عن المتحولات الخفية . ومن كتابة معادلة شرودنغر

كل المستقبلات الممكنة.



كل المواضي الممكنة.

بشكل آخر أقرب إلى مألوف العاملين في حقل الميكانيك الإحصائي استطاع بوم أن يبرز الفرق الأساسي بين الميكـانيكـين : التقـليدي والكمومي . وقد ظهر هذا الفرق بشكـل حد مفرد في المعـادلات وسمي **بالكمون الكمومي** **quantum potential** .

كان هذا الكمون الكمومي يفعل في الجسيم التقليدي الواقعي بطريقة تشبه كثيراً فعل أي حقل قوى آخر . وبذلك كان هذا الكمون قادراً على تسريع حركة الجسيم وإبطائها . ومن هذه الزاوية كان يشبه الكمون الثقالي عندما يفعل فعله في سيارة تهبط طريقاً نازلاً . لكن الكمون الكمومي كان مختلفاً عن ذلك أيضاً ، لأنه كان يتعلق بتوزع عدد لا نهائي من المواقع المكانية المتاحة للجسيم . لم يكن ذلك خطيراً ــ مازال للجسيم موضع واحد فقط ومسار واحد فريد . لكن كان من المستحيل عملياً أن نعين هذه الفردانية لأننا لا نعلم بالضبط الموضع الذي يحتله الجسيم الفرد من تلك المواضع اللا نهائية العدد .

ورغـم أن الفـيزيائي الروسي فلاديمير فوك **V. Fock** أحس بأن موقف بوم كان « غير صحيح فلسفياً » ، لم يجادل أحد حقاً بوم وأتباعه بشكل مقنع . ولكن سرعان ما استغل أتباع بور هذه الفرصة . فكان من شأن ذلك أن أحيا الجدلَ الذي كان قائماً بين أينشتاين وبور .

كان ذلك في نيسان / أبريل من عام ١٩٥٧ ، وفي الندوة التاسعة لجمعية كولستون البحثية التي انعقدت في جامعة بريستول بإنكلترا . يومئذ عرض بوم رأيه المستوحى من أينشتاين في مبدأ الارتياب ، بينما دافع ليون روزنفلد **L.Rosenfeld** ، أحد معاصري بور ، عن تتامية بور .

كان بوم يقول بأن افتراضات مبدأ الارتياب الأساسية (لا يمكن أن توجد نظرية أكثر حتمية من نظرية الكم) تتعارض مع إمكانية وجود حقيقة في مستوى خفي . وفوق ذلك يرى بوم أن هذا المستوى قد يستحيـل اكتشـافه . لكن روزنفلد ، من طرف آخر، كان يجيب بأن العالم كائن كما نعانيه ، وأن على المتحولات الخفية ، إن كانت موجودة ، أن تتصل بتجاربنا . يجب أن تفصح عن نفسها . إن ما يُنكر وجود حقيقة في مستوى خفي أكثر انتظاماً هو ذلك الكمال الذي تمتاز به العملية الكمومية ، أي عدم انقسام كَمِّ الفعل الذي يجب أن ينتقل بتمامه في أية عملية مرصودة . ونحن لا نستطيع أن نساعد العالم ، بل إننا نشوشه حين نرصده .

إذا كنا لا نستطيع أن نعاين أي شيء دون أن نغيرِّ ما نعاينه ، عندئذ قد يبدو أن علينا أن نُسقط فكرة أن الشيء موجود بدون أن نعاينه . لكن عند هذه النقطة يأتي جون بيل ونظريته العجيبة . لقد قدَّم بيل برهاناً على أن التفسير بالمتحولات الخفية المبحوث عنه لاحقاً لدى أولئك الفيزيائيين الراغبين في أساس للحقيقة سببي وأعمق وأكثر ميكانيكيةً هو تفسير يمكن أن يُسفر عن نوع من النظام أسوأ مما نظن . إن الجسيمات الحقيقية يمكن أن توجد ، حسب رأي بيل ، لكنها تتبع نظماً غريبة جداً . إن هذه النظم تُتاخم ما نسميه اليوم الظواهر النفسانية .

كيف وصلنا إلى هذه النظرة الغريبة إلى العالم ؟ إن قلب المشكلة ، في رأي بيل ، هو تقسيم العالم اعتباطياً إلى راصد ومرصود ، وأن ميكانيك الكم لا يدلُّنا بوضوح أين يجب أن نرسم الخط الفاصل بينهما

ولا يقول لنا من يرصد من . وقد شعر بيل أن دراسة موضوع المتغيرات الخفية من شأنها أن تُلقي بعض الضوء . فقد أصبح مفتوناً بما كتبه ماكس بورن عن الفيزياء اللا حتمية في كتابه الذي عنوانه : الفلسفة الطبيعية في السبب والمصادفة ، وكان قد قرأ نشرة بوم ، عام ١٩٥٢ ، حول المتغيرات الخفية . عندئذ قرر أن ينشر آراءه في مجلة الفيزياء الحديثة ، ولكن هذه المقالة التي كتبت عام ١٩٦٤ لم تُنشر بسبب خطأ ارتكبه الناشر ، إلا في عام ١٩٦٦ .

لقد عبر بيل في هذه المقالة عن رأيه في أن البراهين الرياضية القديمة التي قدمها الرياضي اللامع جون فون نويمان Neumann (الذي ألح على أن المتغيرات الخفية غير ممكنة لأنها لا تتفق مع ميكانيك الكم) كانت صارمة جداً . ونجح بيل في صنع نظرية متغيرات خفية لجسيمات تدور كالدوامة . ومن سخرية الأقدار أنه ، حين كان يكتب مقالته تلك ، كان يعمل في كتابة مقالة ثانية تناقض نتائج النشرة الأولى . كان قد تولاه التعصب لبرهان **أ ب** . ر وأصبح محتوى النشرة الثانية هو الذي عُرف باسم « **نظرية بيل** » وفيها برهن على أن كل نظرية متغيرٍ خفي « موضعي » غيرُ قادرة على إعطاء كل نبوءات ميكانيك الكم الإحصائية .

كان مفتاح النظرية في هذه المقالة هو كلمة **موضعي** ، وتعني « يحدث في الحال » في موقع دقيق . إن المتغير الخفي الموضعي شيء يتناول أشياء في موضع معين . خذ مثلاً قارورة شمبانيا تنتظرني . أفتحها وينفجر فورانها قاذفاً فلينتها إلى السقف . كان هذا الانفجار متعلقاً بكثافة الفقاعات في القارورة ، موضعياً (محلياً) هنا أمامي . وفي حين كان معبئ القوارير قد حضَّر شحنة قواريره إلى السفينة ، وكلها تحوي شمبانيا من برميل واحد ، كانت حالة الشمبانيا لدى الوصول تتعلق فقط بالبيئة المحيطة بكل قارورة . وليس لأولئك الأغبياء الذين وضعوا القوارير في الشمس قبل أن يفتحوها أي عذر في الخسارة الناجمة عن الفساد . صحيح أن إهمالهم لا يؤثر في قارورتي التي كانت محفوظة بحرص في قبوي البارد . إن المتغيرات الموضعية معقولة .

إن المتغيرات اللاموضعية غير معقولة بتاتاً . غيِّر أي واحد منها هنا تجد أن شيئاً يتغير في مكان آخر فوراً . أي ، بكلمات أخرى ، أن المتغيرات اللاموضعية هي التي عرفناها سابقاً باسم ترابط أينشتاين ويبين برهان بيل أن المتغيرات الخفية التي تؤثر في الجوار المباشر فقط هي التي من شأنها أن تعطي نتائج قابلة للرصد تتعارض مع نبوءات ميكانيك الكم . أي ، بتعبير آخر ، إذا كان يوجد متغيرات خفية تتصرف بشكل معقول ، فسيكون لها نتائج قابلة للرصد غير معقولة بتاتاً . وماذا يعني أنها غير معقولة ؟ إن من شأنها أن تعدِّل جداول الحقيقة .

والآن نصل إلى الجزء الثاني من نظرية بيل : إن المتغيرات الخفية الموضعية لا يمكن أن تعطي كل نبوءات ميكانيك الكم الإحصائية . والكلمة المفتاح هنا هي **إحصائية** . إننا كلنا محكومون بالاحصاءات . إننا نعيش في عالم إحصائي بكل معنى الكلمة . إن الإحصاءات تخبرنا أن البشر فقط يعيشون سبعين سنة ، وأن الكلاب تعيش أقل من عشرين . وهي أيضاً التي تخبرنا عن السرعة التي يجب أن

لا نتجاوزها في قيادة السيارة كي نظل في حدود الأمان ، وكم نستطيع أن نأكل ، وعن وسطي تكاليف الحياة والتأمينات الطبية . حتى أنها تتحكم فيما سوف يتاح لنا أن نشاهده في التلفزيون او السينما .

إن الاحصاءات تتيح لنا أن نستخرج القوانين التي تحكم التصرف . وسواء كان الغرض كرات مضرب أو صواريخ أو ذرات أو بشراً فإن الإحصاءات هي التي تدل على التصرف العادي ، التصرف الذي نتوقع حصوله . وبالنتيجة فإننا كلما شاهدنا شيئاً يُسمى شذوذاً أو انحرافاً كان معنى هاتين الكلمتين أن الذي شاهدناه غيرُ متوقع حدوثه إحصائياً .

خذ مثلاً نظام نلسِن Nielsen الشهير في التخمين لمعرفة ما يتابعه الأميركيون في التلفزيون . فمن بين أكثر من ألف جهاز تلفزيوني يستطيع المخمنون أن يعرفوا ما يتابعه الأمريكيون إجمالاً . لماذا ؟ لأن الناس الذين تراقب مؤسسات نلسن تلفزيوناتهم أمريكيون نموذجيون في بيوتهم على طول الولايات المتحدة وعرضها . إنهم عيِّنة . فإذا كان عدد التلفزيونات المولَّفة على « الأيام السعيدة » في ليلة معينة مساوياً سبعمئة ، فإن المخمنين يتوقعون أن 70٪ من كل تلفزيونات الولايات المتحدة مولفة على ذلك البرنامج . ولكن هب أن جمهور العينة قرر أن يتآمر ، أي أنهم قرروا جميعاً أن يشاهدوا برنامج « أنا ، كلوديوس » في الشبكة PBS بدلاً من « الأيام السعيدة » . ورغم أن الاحتمال ضئيل جداً في أن يشاهد 70٪ من مجموع الشعب الأمريكي برنامج « أنا ، كلوديوس » فإن المتوقع من تلك المؤامرة أن تسبب انحرافاً ولو ضئيلاً عن المعدَّل الإحصائي .

ونظرية بيل تبين فعلاً أن المتغيرات الخفية الموضعية من شأنها ، كالمؤامرة الافتراضية التي حاكها جمهورُ عينة نلسن ، أن تخلق نتائج قد تنحرف عن تلك التي يتنبأ بها ميكانيك الكم . لكن لم يستطع أحد حتى اليوم أن يلحظ أية ظاهرة تشذ عما يتنبأ به ميكانيك الكم . وعلى هذا إذا كان يوجد متغيرات خفية فإن القوانين التي تحكمها ليست موضعية .

إن المتغيرات ، أو العوامل ، الخفية اللا موضعية هي النوع الوحيد الذي يمكن قبوله كأساس لعالم حتمي . ولإنشاء بيت ذي نظام نحتاج إلى شبكة أساسات مترابطة ، تستند عليها كل بيوت العمارة . ولما كان اللا موضعي يعني عكس الموضعي بالضبط ، فإن أي تغير في أي عامل غير موضعي ، أيان حدث ، يؤثر فورياً في أجسام ليست في جواره المباشر . فلو كان يوجد متغيرات خفية لا موضعية تحكم ، مثلاً ، فتح قارورتي ، قارورة الشمبانيا ، فإن من شأنها أن تؤثر في ظروف كل القوارير التي ملئت من برميل واحد مع قارورتي . أي أن من شأن القوارير الأخرى كلها أن تفقد بعضاً من غازاتها حين أفتح قارورتي .

وهذا المفعول المزعج الذي ينال كل القوارير الأخرى يحدث فورياً ، في لحظة فتحي قارورتي . ولئن كان مثل هذا العالم الحتمي يوفر أساساً سببياً للحقيقة إلا أنه كان سيجعلنا جميعاً ضحايا فورية لنزوات أناس كنا قد تعاملنا معهم في ماضيات أيامنا . ومن ذلك يستنتج بيل مايلي :

> يجب أن يوجد ، في كل نظرية عن إضافة عوامل إلى ميكانيك الكم بهدف تعيين نتائج قياسات مفردة دون تغيير النبوءات الإحصائية ، آلية تتيح لجهاز قياس شغال أن يؤثر في دلالات جهاز آخر مهما

كان بعيداً . وفوق ذلك ينبغي للإشارة الناشئة أن تصل فور صدورها ، مما يجعل هذه النظرية عاجزة عن .. [الاستجابة لاعتراضات أينشتاين في مفارقة أ . ب . ر] .

واضح أن ثمن الحتمية باهظ جداً . ونحن كنا نبحث عن متغيرات خفية بأمل أن تخلصنا من تلك الأشباح التاخيونية(الأسرع من الضوء) . فلو تمسّكنا بعالم جيد التنظيم على صعيد الرصد نجد أنفسنا ، والحالة هذه ، مجبرين على القبول بعالم تحتي سحري .

إن القواعد التي تتبعها المتغيرات الخفية أكثر جموحاً بكثير من قوانين المتغيرات القابلة للرصد . وكلما توغلنا في البحث عن قانونٍ ونظامٍ تفاقم عدد الأشباح والعفاريت والمسوخ . وإذا سأل أنصار الحقيقة التقليدية قائلين : « ألم يعد يوجد أي أمل ؟ » فإن الجواب هو : « نعم ، شرط أن يبرهن أحد كم على أن ميكانيك الكم يعطي نبوءات خاطئة ، وإلا فإن الفيزياء الكمومية تكون قد أعطت نتائج ممتازة » .

إن سبر أعماق الحقيقة يشبه كثيراً سبر المرء نفسَه في دراسة نفسانية . وبهذه المناسبة يخطر بذهني أنماط archetypes كارل يونغ C.Jung ، وهي أشكال تسمى الآن « العقل الجماعي اللا واعي collective unconscious » . إن هذه الأشكال ، بمعنى ما ، راسخة في دركٍ أسفل اسمه « اللا وعي » . ويقال إنها موجودة في كل واحد منا . ولكن هل هذا صحيح ؟ لا أظن ذلك . كما أنني لا أعتقد بتاتاً بوجود أي « لا وعي جماعي » لكننا نخلقه بأنفسنا عندما نبحث عنه . وذلك على غرار ما يفعله الفيزيائيون عندما يخلقون « متغيرات خفية » في أثناء بحثهم عن أساس قانوني للحقيقة .

وعلى هذا الأساس لا يوجد « متغيرات خفية » ، لماذا ؟ ببساطة لأننا في غنى عنها لدى تفسير أي شيء . إن العالم هكذا : ذو مفارقات وذو أساس عصي على اليقين . إن الحفريات فيه لا تقود إلى اكتشاف « جنس بشري » آخر ، بل تقود إلى مقدرة بشرية خلاقة تستطيع أن تصنع شيئاً « يكون » من شيء غير كائن . وبما أنه لا يوجد شيء في « الخارج هناك » إلى أن نعثر عليه ، فإننا لا نكتشف شيئاً أكثر من أنفسنا . فلا غرابة إذا صادفنا مفارقة حيثما نظرنا .

إننا نحن ذلك « اللا شيء » الذي نبحث عنه . إننا كالصفر الذي هو ، في الوقت نفسه ، حاصل جمع +10 مع –10 ، أي أننا مصنوعون من خاصيتين متتامتين . وإذا بحثنا عن النظام النهائي أو الفوضى النهائية فإننا نخلق هولة لا عهد لنا بها . إن ما نبحث عنه موجود سلفاً كتخيلٍ أو يمكن أن يوجد بسبب التخيل . وتخيلاتنا تتغير على الدوام . لا شيء ممنوع عليها . وإذا استمرت الفيزياء الكمومية في إعطاء صورة صحيحة للحقيقة فإن عدد المستحيلات يكون قليلاً . وكما قال أحد الفيزيائيين : إن كل ما هو غير ممنوع إلزامي .

لقد عثرنا على المتغيرات الخفية : إنها نحن !

لقد زرت منذ بضع سنوات الفيزيائي جون كلوزر J.Clauser في مختبره بجامعة كاليفورنيا بيركلي .

كنا قد حضرنا سلسلة مناقشات حول نظرية بيل . كان كلوزر واحداً من أوائل الفيزيائيين الذين حاولوا إجراء تجربة لقيـاس الحدود التي وضعها بيل لنظريته الرياضية . وقد أكدت تجاربه ميكانيك الكم ، إن المتغيرات الخفية غير موضعية إن وجدت . وعندما دخلتُ مختبر كلوزر تبسمتُ حين رأيت لافتة معلقة على الباب وقد كتب عليها الكلمات التي هي عنوان هذه الفقرة . إنها مستوحاة من كلمات خالدة قالها بوغو Pogo البطل المضحك في قصص وولت كيلي : « لقد عثرنا على العدو ، وهو نحن ! » .

كانت تجربة كلوزر تختبر معنى عبـارة الحقيقة الفيزيائية ــ بالتحديد : الموضوعية objectivity والموضعية locality اللتين كان يختصرهما بـ O + L أو ببساطة OL . والموضعية هي ما كنا تكلمنا عنه حتى الآن في هذا الكتاب . والذاتية subjectivity هي عكس الموضوعية ــ العالم كما يبدو لذاتي ، من خلال عينيّ . إن الألوان بالنسبة لأعمى الألوان تنشأ بتحريض ذاتي . وهذا أيضاً شأن ما تحب وما تكره من شخصيات الناس . إن كل عالم بدون موضوعية ولا موضعية عالم ذاتي جداً بموجب ما نفهمه من هاتين الكلمتين . إنه عندئذ مؤلف من عنصر واحد هو أنا . إنه عالم الأنانة الكمومية .

إن عالم الأنانة الكمومية ينطوي على بعض الشبه بمقولة ديكارت : « أنا أُفكر ، فأنا أكون » . والأناني الكمومي يقول : أنا الحقيقة الوحيدة . كل شيء خارجي هناك كامن في عقلي . وتغيير الحقيقة ــ أي تغيير الأشياء إلى عدة أشياء ــ يقتضي مني أن أغيِّر عقلي . وبمقدار ما أستطيع أن أفعل ذلك يتغير مظهر العالم في عينيّ . وربما كان فشلي في فعل أشياء مذهلة ، كالطيران في الفراغ أو السفر نحو الماضي والمستقبل في الزمان كما أسافر بسهولة في المكان ، ناجماً عن قصور خيالي .

ولدينا في التفكير طريقة تشبه الأنانة اسمها الحواسية (*) positivism . إن فلاسفة هذا المذهب ينكرون كل شيء إلا ما يُدرك بالحواس التي يعتبرونها وحدها الأسس المعقولة للمعرفة البشرية . إن ما نعرفه هو ، بكل بساطة ، ما نحسُّه . دعونا ، بغية التمييز والتدقيق ، نُضف الكلمتين : الموضوعية والموضعية . إن الموضوعية تعني الحقيقةالمادية ، والموضعية تعني أن كل ما يحدث هنا والآن لا يمكن أن ينجم (أو يتأثر) إلا عن حوادث (أو بحوادث) ماضية كانت على صلة مادية بهُنا وبالآن .

والآن دعونا نقرأ مقطعاً من الرسالة التي كتبها الفيلسوف كارل بوبر C.Popper إلى الفيزيائي جون كلوزر الذي أكَّدت تجاربه أن اجتماع الموضوعية والموضعية مستحيل . فقد بينت هذه التجارب أن العالم الذي يتصف بالموضوعية والموضعية معاً ــ الصفتين اللتين نعتبرهما قائمتين كأساس لعالمنا الخاص ــ ليس عالمنا هذا . إن عالمنا ينسجم مع قواعد ميكانيك الكم ، وميكانيك الكم يُنكر الحقيقة المادية والموضعية . كان كلوزر وهورن Horne قد شرحا نتائجهما في مقالة ظهرت عام ١٩٧٤ في المجلة الفيزيائية physical review :

(*) يطلق بعض المختصين على هذا المذهب اسم الوضعية ، أو اليقينية . ولكننا فضلنا هذه التسمية لقربها من مضمون هذا المذهب . (المترجم) .

لقد حاول الفيزيائيون أن يصوغوا بالمنطق المتماسك نموذجاً للظواهر المجهرية بلغة كيانات موضوعية من الأفضــل أن يُستطـاع تحديد شيء من البنية لها . وهذه المقالة تهتم بمسألة ما إذا كان يمكن ، أو لا يمكن ، لميكانيك الكم بشكليته formalism الحالية أن يُعاد سبكه ، أو ربما تفسيره ، بأسلوب يسترد موضوعية الطبيعة ، ويتيح عندئذ صنع نماذج من ذلك القبيل (حتمية أو غير حتمية) . وقد وجدنا أن ليس بالإمكان فعل ذلك بطريقة طبيعية ، تنسجم مع الموضعية ، دون تغير في النبوءات التجريبية يمكن رصده .

كانت رسالة بوبر ، المؤرخة في آب / أغسطس ١٩٧٤ ، إلى كلوزر تقول ما يلي :

أشكر لك مقالتك الممتعة جداً . لكنني ما زلت لا أستطيع أن أصدق أن الموضعية + الموضوعية لا يمكن إدراكهما معاً . والواقع أنني أظن أن بور سيتوقع ذلك بالرغم من أنه كان قد رفض دفاع أينشتاين عنهما . واليوم فقط أصبحت مضـامين ميكانيك الكم واضحة بفضـل بيل وفضل جماعتك . وواضح أيضـاً ، مع ذلك ، أن بور كان قد ميَّزهما ، ولو بشكل غامض بعض الشيء (وفِغنر Wigner أيضـاً ما يزال على حق حين أدرك أن ميكانيك الكم يتضمن الأنانة ، وأنه إذن يجب أن يكون خاطئاً ، بالرغم من نتـائجك ونتـائج فريدمان Freedman المذهلة . ولا تنس أن الحواسية (ماخ Mach) ترفض مذهب الذرة) . إنني شديد الارتبـاك . إذا كانت الحواسية صحيحة موضوعياً ، فلماذا يجب عليَّ أن أتقبل الموضوعية « إلى هذا الحد ، **لا أكثر** ؟ »

كانت تجارب كلوزر تعارض الموضوعية + الموضعية . لكنها ، بتأييدها ميكانيك الكم ، تبدو دالَّة على أن الحواسية والأنانة أقرب إلى الصحة . وهذا وضع غريب جداً بالفعل : إن كل شخص خارجي هناك صار فجأةً أنت . وإن ملاحظات بوبر الأخيرة هي استغلال لمفارقة أنك تعرف موضوعياً أنه لا يوجد موضوعية .

دعنا ننظر في مثال عملي عن الأنانة الكمومية . إن الحياة مُعلِّم عظيم . لكننا ، في معظم الأحيان ، نخطىء فهم تعاليمها . هل لاحظت قبل الآن مبلغ تعصُّب بعض الناس ؟ قد تكون ذات يوم غير بعيد قلت لأحد الناس : « إنك متشبث جداً بموقفك من هذا الأمر » . أو ربما تكون قد لاحظت أن زوجتك ما تزال تنتقد تصرفاً كنتَ قد أقلعتَ عنه بطيب خاطر منذ مدة طويلة . لماذا يتصرف الآخرون بهذه الطريقة ؟ إذا كنت في عالم ذي موضوعية وموضعية ، فإن ما تراه فيما هو خارجي عن ذاتك هو شيء كائن كما هو . إن الشخص الآخر سخيف وعنيد . وأنت لم تزد على أنك كنتَ الراصد لهذا الواقع ، وأنك فعلت خيراً حين أبرزتَ هذا الواقع للشخص السخيف الذي تتعـامل معه ؛ قد يستفيد هذا الشخص من ملاحظتك (رصدك) . وقد يقول : « أشكرك على أنك لفتَّ نظري إلى ذلك . الواقع أنني كنت قلقاً بشأن أسعار التفاح الذهبي الياباني » .

إن ملاحظتك لخاصية العِناد في طبع هذا الشخص مثال على الموضوعية . وإن قلقه بخصوص أسعار التفاح الذهبي مثال على الموضعية . والشيء الذي حدث بينك وبينه لم يتأثر بك . إن عناده ليس طبعاً له

لكنه إسقاط لأفكارك **أنت** . إنه لا يبدو لك سخيفاً إلا لأنك تطلعت إلى ما تراه سخيفاً . أو ، بتعبير آخر ، أنك تطلعت إلى سخافتك الشخصية ، إلى عنادك الشخصي .

إن ذلك الشخص الآخر ليس سوى صورة منك . إنه يفعل ما يفعل مما تراه يكشف لك عن خبايا نفسك . إن ما تعاينه من مشاعره ومواقفه ليس سوى مشاعرك ومواقفك . إن الأناني الكمومي شخص قدير ، لأنه في الواقع يجسد العالم كله . إنه يُسخِّر مقدرته بطرائق سحرية مفيدة . إنه يستغل عقله . ربما كان عقله هو المتغير الخفي ؟

القسم الرابع

حين نفقد عقولنا



الفصـل الثالث عشر

الوعي والعوالم المتوازية

لا يوجد قيود عليّ .

Pinocchio (*)

(*) دمية ، في إحدى روايات الإيطالي كولودي Collodi للأطفال ، تتكلم وتتحول إلى شكل المخلوق الحي الذي تريده . (المترجم) .

أي نوع من الآلة أنا ؟

إذا لم يكن علينا قيود ، فلماذا نتعامل مع العالم كأنّ علينا قيوداً ؟ كان فِغنر ، حامل جائزة نوبل في الفيزياء ، يعتقد أنّ وعينا(إدراكنا) يُغيِّر العالم نفسه لأنه يُغير كيفية تخميننا للمستقبل . أي أننا نتعامل مع العالم بطريقتنا لأننا نختار أن نتعامل معه بتلك الطريقة . وفي مثال يبعث على الضحك ، يسمى اليوم « صديق فغنر » ، نرى كيف يتسنى أن يُغير وعيُ الصديق الحقيقةَ ويقودَ إلى تعارض .

ولكن ماهو ذلك الشيء الذي نسميه وعياً ؟ كان هيو إيفيريت الثالث قد أتم دراسته الجامعية الأولى في الفيزياء الرياضية بجامعة برنستون عام ١٩٥٧ . ثم قدّم في أطروحة الدكتوراه حلاً فظيعاً لهذه المسألة : لا حاجة لأي وعي في الفيزياء الكمومية . إن المستقبل لا يغيره الوعي . بل إن كل المستقبلات الممكنة تحدث حقاً ! فبدلاً من عالم فرد يظهر بالمصادفة كيفما اتفق ، عالم يغيره الوعي « كمشية السكران » ، يوجد عدد لا نهائي من « عوالم متوازية » تتصرف كلها كانديناحات تمكية نظامية جداً ضمن المستقبل . ونحن موجودون في جميع هذه الطبقات العالمية !

إن هذه العوالم متوازية بطبيعتها ، ولا يتعدى أي منها على سواه . وعلى هذا فنحن لا نعي سوى الطبقة التي اتفق لنا أن نكون فيها ، لا سواها . وكل فعل يجري هو تفاعل يعمل على شاكلة مفترق طرق على طريق المسافر ، والمسافر لا يحتاج إلى أن يُعمل عقله ، إنه أمام هذه الطرق الفرعية في آن ، لكنه لا ينتبه إلا لواحد منها فقط .

إن الراصد ، في رأي إيفيريت ، لا يعدو كونه آلة ذات ذاكرة . والوعي هو الترابط الكمومي بين الطبقات العديدة التي تؤلف بمجموعها ميكانيك الكم ، أي ، بكلمات أخرى ، أننا « غوالم golems » ميكانيكية كمومية .

الغَوْلَم : آلة ذات وعي ؟

إن جذور قصة « الغولم » تتصل بقصة الأحياء اليهودية في المدن الألمانية في القرون الوسطى ، وبقصة رئيس روحي تقيّ ، رابي لويو Rabbi Loew ، عُرف بكونه زعيماً لطائفة من القبلانيين Cobalist(*) الصوفيين السحرة . لقد ابتدع هذا الحبر الساحر طريقة « عملية » للاستفادة من سحره . « خلق » الغولم Golem ، وهو كائن وظيفته أن يخدم شعبه في معاناته وكفاحه ، وأن يقدم العون إلى

(*) طائفة ، من أحبار اليهود وبعض النصارى في القرون الوسطى ، ذات فلسفة دينية سرية تفسر الكتاب المقدس تفسيراً صوفياً . (المترجم) .

الطائفة المضطهدة . « لقد صنعه من الصلصال ، ونفخ فيه نَفَساً روحانياً ، وجعله صانع معجزات » فهل نستطيع أن نكرر معجزة رابي اليوم ؟

كان أول لقاء لي مع الغوالم قد حصل في أواخر عام ١٩٧٣ . أُعطيت في ذلك العام منحة متواضعة من جامعة لندن ، معهد بيركبك ، قسم الفيزياء ، وذلك لصنع صورة متحركة حاسوبية للتفاعل بين الإيونات والذرات . وبنتيجة ذلك قررت أن أعرض الفِلم في مهرجان للفنون الحاسوبية أقيم في إيدنبرُغ (اسكتلندا) . وهناك التقيت الأُستاذ إدْ إيناتوفيتس Ed Ihnatowitz ، من قسم هندسة الميكانيك في جامعة لندن . كان لهذا الأُستاذ عقل مخترع عظيم . والأعظم من ذلك أنه كان فناناً ونحاتاً مشهوراً . لكن دعني أُحدثك عن المهرجان قبل أن أُحدثك عنه .

إن مدينة إيدنبرُغ تستضيف مهرجاناً فنياً في أواخر كل عام . إنه حدثٌ احتفالي يدوم أسبوعاً وتُعرض فيه مستجدات الفن الأوربي ، بما في ذلك الفن التمثيلي . وكانت الفنون الحاسوبية قد دخلت في هذا المضمار مؤخراً . كان أحد المبدعين العباقرة قد ألَّف رقصة حاسوبية جماعية ألبس فيها الممثلين أغرب الأزياء .

كان في البرنامج ، من بين أعمال الأُستاذ إيناتوفيتس العديدة ، فِلم عن أحد « منحوتاته » . وفي ذلك الوقت كان « المنحوت » الفعلي يُعرض في متحف أيندهوفن في هولندا . كان يتألف من لعبة على شكل سمكة من أسماك ما قبل التاريخ الوحشية . كانت أضخم من الفيل وتشبه الزرافة أكثر . كانت تتحرك أيضاً . كان الأُستاذ قد وضع فيها جهازي استقبال يتحسسان بالصوت ويجاوبان جواباً يختلف باختلاف طبقة الصوت وشدته ، وكانا معلقين برأس ذلك المخلوق كأنهما أذناه .

ولإدخال السرور على قلوب الأطفال المسحورين كان « الوحش » يستجيب لصراخهم بخفض رأسه من علٍ إلى مستوى أفواههم . كان يصغي إليهم ويسعى إلى تقريب « أذنه » . وهذا يعني أنه كان يصغي إلى أن يأتي الطفل بضجة مكروهة ، وعندئذ يرفع الوحش رأسه وينصرف عن ذلك المكروه عائداً إلى وضعيته المتعالية .

كنت مندهشاً من الفلم ومن إبداع خالق الوحش . لكن طريقة تعامل المخلوق مع الأطفال لم تكن القسم المذهل من هذا الاختراع رغم أنه صنع لهذا الهدف . ويبدو أن القائمين على المعرض كانوا ، عندما يفتحون المتحف كل صباح ، يتعجبون من رؤية الوحش خافضاً رأسه حتى الأرض كأنه نائم . وبمجرد أن « يسمعهم » يلتفت برأسه نحو مصدر الصوت وكأنه يستيقظ من نومه . ولما لم يكن هذا التصرف مبرمجاً في تركيب الآلة ، كان من الصعب أن يُعرف في البدء لماذا كان « يخلد إلى النوم في الليل » . هل أصابه الضجر ؟ كان سلوك هذا « الكائن الحي » الخارقُ مثيراً للإفتتان .

لكن سبب تصرفه هذا ما لبث أن أصبح واضحاً . هل حزرته ؟ لقد تبين أنه كان ، بمعنى ما ، قد شُحن . فعندما يغلق المتحف أبوابه وتزول أصوات البشر لا يبقى في البناية المعزولة سوى الأُصوات الناجمة عن آلات أخرى فيها . كانت إحدى الآلات مكيِّفَ الهواء في قاعة تحت مأوى الوحش . فكان على

الوحش ، كالطفل الذي ينصت لخفقان قلب أمه ، أن يصغي لهدير مكيف الهواء . فبدون أي صوت آدمي آخر يؤنس وحدته بحث ذلك المخلوق الآلي عن « المسامر » الوحيد حوله فلم يجد سوى ... آلة أخرى .

لا أدري لماذا كنت مشدوداً إلى سلوك هذا الحيوان . وقد سألت الأستاذ فيما بعد كيف تأثر هو نفسه بسلوك مخلوقه غير المتوقع ، فأجابني بإن ذلك كان شيئاً عادياً من جملة مخترعاته : إن الأشياء تفعل ما هو غير متوقع . هل من الممكن حقاً أن نستطيع بناء تركيب معقد مفكر يفاجئنا بتصرف ذكي من لدنه ؟ وإذا صح ذلك فما الفرق بين الآلات والكائنات الحية ؟

إن إمكانية خلق تركيب ميكانيكي ذكي ، خلق غولم ، أكبر من أي وقت مضى . وهذا لا شك عائد إلى التقدم الهائل في الدارات الإلكترونية المكروية ، المدعوة « شيبات (شرائح) Chips » . ويدّعي مقال حديث في مجلة حياة المستقبل Future Life أن ما كان يتطلب 400 قدم مكعبة من الأدوات لتخزين مليون حرف في « ذاكرة » الحاسوب لا يقتضي اليوم سوى 0,03 قدم مكعبة ، أي حجم كرة المضرب تقريباً . وبما أن أدواتنا التقانية أصبحت أصغر فأصغر ، فسنجد أنفسنا في النهاية وجهاً لوجه مع الفيزياء الكمومية . ربما كنا آلات كمومية .

عقل الاستاذ فغنر

لقد قال أينشتاين ذات مرة بأن أكثر الأشياء استعصاء على الفهم هو أن يكون العالَم قابلاً للفهم . إننا قادرون على أن نفهم وأن نجد معنى في حيواتنا وفي العالم الذي نتوقع أن نراه كل صباح حين نصحو من النوم . ولكن كيف يحدث ذلك ؟ كيف تسنى لنا ، أنت وأنا ، أن نتفق ونجد معنى لهذا العالم ؟ إنه سؤال حقيقي إذا نُظر إليه من زاوية ميكانيك الكم . إن المستقبل القادم « يبدو » منوطاً بالماضي . إننا كلنا لُعَب دميوية يمسك أحد بخيوطها . لماذا ؟

يقدم أوجين فغنر لنا جواباً . إنه يوحي لنا بأن وعينا يُغيِّر العالم بتغييره إيانا . إنه يؤثر في كيفية تخميننا للمستقبل . وهو يفعل ذلك بتغيير توابعنا الموجية الكمومية التي تمثلنا ، أي تمكاتنا . ولما كانت تمكاتنا تحوي كل المستقبَلات الممكنة ، فإن إراداتنا هي التي تغير المستقبلات المحتملة إلى حاضر واقعي . وهذا يحدث بنتيجة الانطباعات التي نأخذها حين نتفاعل مع أي شيء . ويشرح فغنر العملية كمايلي :

> إن الانطباع الذي يأخذه المرء عن التفاعل يمكن أن يغير ، وهو يغير عموماً ، احتمالات اكتساب المرء لشتى الانطباعات الممكنة عن التفاعلات اللاحقة . أي ، بتعبير آخر ، أن الانطباع .. المسمى أيضاً نتيجة الرصد ، يغير تابع موجة المنظومة . والتابع الذي تغير .. لا يمكن التنبؤ به قبل أن يكون الانطباع .. قد دخل وعينا : إن دخول الانطباع في وعينا هو الذي ..يغير تخميننا لشتى الانطباعات التي نتوقع أخذها في المستقبل . وعند هذه النقطة يدخل الوعي في النظرية دخولاً لا يمكن تحاشيه ولا تغييره .

وهكذا نشعر بالعالم كما لوكان مسيطَراً عليه ومنوطاً بالماضي أو « بلاعب سماوي » لأننا فقط لا نستطيع أن نتحكم بنتائج اختياراتنا . إن كلاً منا ، في نهاية الأمر ، هو مصدر سرائه وضرائه ، عبر هذه الاختيارات ، وغناه وفقره وكل ما يعانيه . لكن الانطباعات التي نأخذها لا يمكن التنبؤ بها . إنها تغير توابعنا الموجية ، تمكاتنا ، كما تغير دَوساتُ أصابع عازف الكمان الموجاتِ في الأوتار . أنت العازف وقد حان لك أن تخرج من ضمن طمأنينة « الماضي » في بيت « زمانك » وأن تصعد إلى سطح « المستقبل » . إنك تستمد مقدرتك من أن هذه الانطباعات غير معينة . إنك « العازف على السطح » لكن النغمة قد لا تأتي على هواك بالضبط .

إن ما أتكلم عنه هو قدرتنا ، كأفراد ، على التأثير في أحداث حياتنا اليومية . إن ميكانيك الكم يبين بوضوح أن لا شيء يمكن تعيينه سلفاً ، مهما كان الشكل الذي تتخذه الأحداث . لا لأن عالمنا صغير فحسب ، بل ولأنه عالم زِنِّي في أعماق أعماقه . ولئن كان بإمكانك أن تعترض وتدّعي أنك لا يمكن أن تتغير وذلك بحجة أن الناس ما زالوا يرونك كما كانوا يعرفونك ، أي أنك عاجز عن أن تغير أي شيء ، فإن كَمَّ الفعل الذي لا يتجزأ يثبت أنك مخطئ .

هذا حتى أن مفهوم الذاكرة لدينا يحتاج إلى إعادة نظر . إن المرونة الكمومية تبنئ أن الماضي يُخلق كالمستقبل . لا يوجد ماض . ولا يوجد مستقبل . إننا نحن نخلق الاثنين بشكل استمراري وبطرائق لا يمكن التنبؤ بها . لا يوجد رسائل خفية . فإذا تولد لديك ، للحظة واحد فقط ، شعور بهذا الواقع المسيطر ، واقع وجودك ، فإن ذلك سيغيِّر مستقبلك الآن كما تمسك هذا الكتاب بيديك . ولا يسعك إلا أن تشعر بقدرتك . لا أحد يعرفك ولا تعرف احداً . لكنك تقول : « على رسلك ، إنني أعرف ابنتي طبعاً ، لماذا ؟ لأنها أمامي هنا . فماذا تعني ؟ » إنك تريد أن تعرف كيف نستطيع أن نشعر بأشياء واحدة وأن نعلم من تواصلنا أننا نفعل ذلك . من المدهش أن الفيزياء الكمومية يمكن أن تقدم حلاً لهذا اللغز .

كيف يتسنى أن نتقاسم حقيقة مشتركة ؟ سنجيب عن هذا السؤال بطريقتين . سنفحص ، أولاً ، مثالاً طريفاً قدمه الأستاذ فغنر ، وسُمِّي « مفارقة صديق فغنر » .ثم نعمم هذا المثال في الفقرة القادمة التي أُخصصها لما أعتقد أنه أفظع فكرة عن الحقيقة خطرت ببال إنسان . لئن كان صديق فغنر يخلق حقيقة من خلال أفعال الوعي ، إلا أن نظرية العوالم المتوازية تخلصنا من الوعي برمته ! ولكن ، كن جاهزاً لتلقي صدمة . إن ما سيحل محل الوعي مغامرةٌ فيها من الصوفية والسحر ما يفوق سواها بكثير ، لأننا نعيش في عدد لا يحصى من العوالم المتفاعلة باستمرار .

مفارقة صديق فغنر

إن الوعي هو العنصر الخلاق في هذا العالم . فبدونه لا يظهر شيء . فلا صوت بدون آذان ، ولا وجود لقطة شرودنغر ، حية أم ميتة ، بدونك أنت الذي تفتح الصندوق . إن ميكانيك الكم لا يعلل

ذلك ، لكن فغنر وحده يفترض أن ذلك صحيح . وبرغم أن بعض القراء سوف يعترضون حتماً على استعمالي كلمة **وعي** بهذا الشكل ، لكنني أشعر بما يسوّغ تعريف الوعي بأنه « ذلك العنصر الذي يقع خارج العالم الفيزيائي (المادي) والذي يُقلّص (يبمّ) التمك مستخرجاً النتيجة المرصودة من تشكيلة ظروفه المتاحة » .

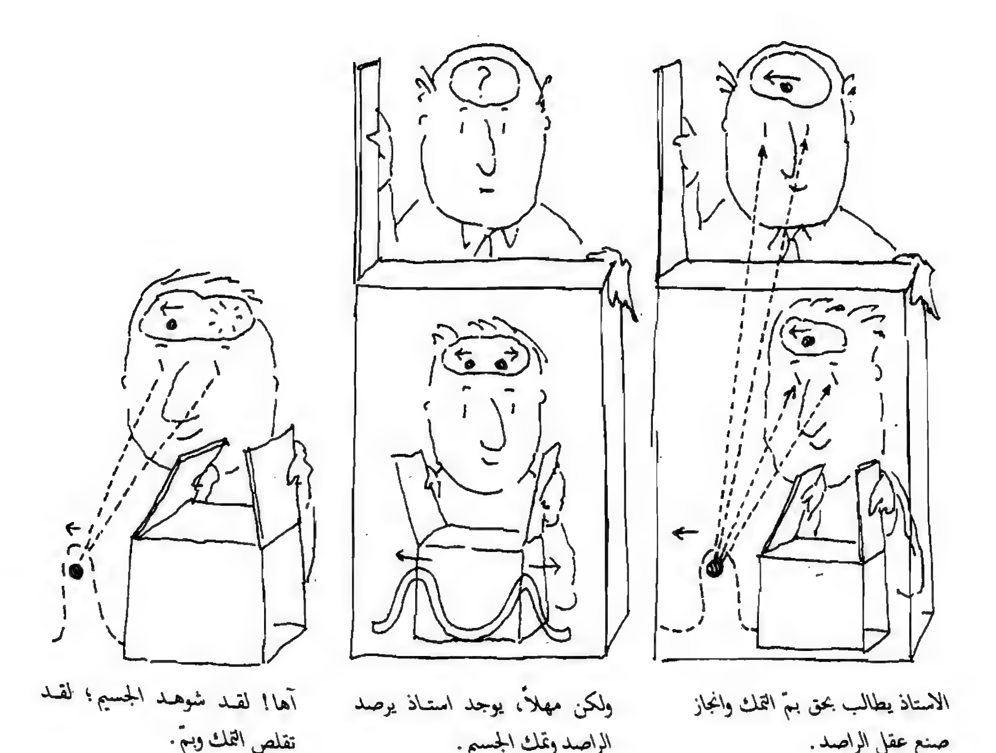
يظهر أن فغنر يتفق معي . وإليك كيف يتناول هذه المسألة قبل أن تفتح الصندوق مباشرة . كان يوجد في الصندوق « هيئتان قطيتان » متراكبتان (ممزوجتان معاً) . ولكن في لحظة فتحك الصندوق ، تصبح **إحدى** الهيئتين القطةَ الحقيقية وتزول الهيئة الأخرى . أي أن الامتزاج في عقلك يزول في لحظة معرفة أن القطة حية (أو ميتة) . وللإلحاح على هذه النقطة ابتكر لنا فغنر مفارقة صديقه . إنها كما يلي .

صديق فغنر يقوم بتجربة . كان قد وضع جسيماً في صندوق وأغلق الصندوق . إن الجسيم المحصور لم يعد له ، بموجب ميكانيك الكم ، موضع معين بكل دقة . لكن المفترض أنه يتخذ شكل موجة استقرارية ضمن الصندوق . إن شكل الموجة هذا يخبرنا أين يُحتمل أن يُعثر على الجسيم ، لا أين يكون فعلاً . وهو أيضاً ، بسبب أنه محجوب ، ليس له اندفاع محدد . إذ أنه قد يكون ذاهباً نحو الجانب الأيمن من الصندوق أو الجانب الأيسر .

ولكي يعرف ما يحدث ضمن الصندوق يقرر صديق فغنر أن يفتح جهتين متقابلتين من الصندوق دفعة واحدة . إن إزالة الجدارين المتقابلين سيجعل الموجة الاستقرارية تنشق إلى نبضتين موجيتين تذهبان باتجاهين متعاكسين . وبعد مدة وجيزة تعبر كل نبضة الباب المفتوح أمامها . عندئذ يرى الصديق الجسيمَ في يسار (أو يمين) الصندوق ويسجل ما شاهده (ما رصده) .

عند هذه المرحلة يظهر الأستاذ ويشرح لصديقه أنه (الأستاذ) كان يقوم بتجربة غير عادية تستهدف الصديق والجسيم معاً . كان الأستاذ قد وضعهما كليهما في صندوق كبير جداً . وبهذا الأسلوب تكون ، بموجب ميكانيك الكم ، نتيجة رصد الصديق للجسيم نفسها منشقة إلى هيئتين ممكنتين . في إحداهما يرى الصديق الجسيم في الجهة اليمنى من الصندوق المفتوح من طرفيه ، وفي الأخرى يرى الصديق الجسيم في الجهة اليسرى . إن الأستاذ يبرز أن نوع عملية رصده للصديق والجسيم هو الذي « خلق » مشاهدة الصديق للجسيم عندما فتح الأستاذ صندوقه الكبير ! أي ، بتعبير آخر ، أن الصديق والجسيم يدينان بوجودهما إلى نوع الرصد الذي أجراه الأستاذ .

يحل فغنر هذه المفارقة بإيقاف الامتزاج الرصدي لدى الصديق بالدرجة الأولى . وتبعاً لذلك يخلق عقل الصديق موضع الجسيم مما يجعل الأستاذ يرى ، حين يفتح الصندوق الكبير ، ما كان حاصلاً سلفاً . ولكن هل هذا حل للمسألة حقاً ؟ إن فغنر يشعر بأنه الحل المقبول الوحيد . ونحن نعلم أن الوعي أو العقل يتأثر بالظروف الكيميائية ــ الفيزيائية ، فلماذا لا يؤثر العقل بدوره في هذه الظروف ؟ وبذلك يضطر فغنر للذهاب إلى أبعد من ميكانيك الكم للعثور على الطريقة التي يتبعها الوعي كي يقلّص التمك (يبمّه) ويولّد الحقيقة ، كما تُرصد ، مما لا يُرصد ، أي من العالم الكمومي الكامن . لكن لا يوجد حتى الآن أحد يعرف



الاستاذ يطالب بحق بمّ التمك وانجاز صنع عقل الراصد.

ولكن مهلاً، يوجد استاذ يرصد الراصد وتمك الجسيم .

آها! لقد شوهد الجسيم؛ لقد تقلص التمك وبمّ.

كيف يفعل ذلك بطريقة رياضية يمكن اختبارها .

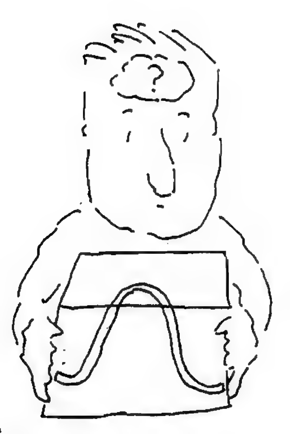
ولكن هل نحن بحاجة للذهاب إلى أبعد من الفرضيات القائمة سلفاً في الفيزياء الكمومية ، كي نخلق العالم ؟ إن إيفيريت الثالث لا يعتقد ذلك . لكن البديل الذي اقترحه قد يكون أشد غرابة . إنه يطلب منا أن نتبنى ميكانيك الكم بحرفيته . إن العالم لا يكون في عقولنا إلى أن نخلقه ـــ إنه حقاً في الخارج هناك وبكل هيئاته في وقت واحد .

عدد لا نهائي من العوالم المتوازية

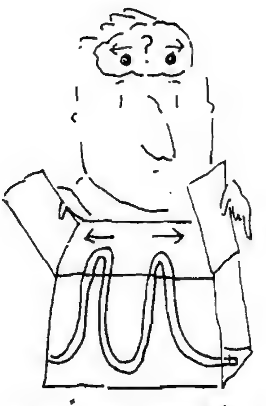
لقد أضـاف إيفيريت جانباً طريفاً إلى مفارقة صديق فغنر . فعندما يصرخ الأستاذ أنه « خلق » الصديق والجسيم فإن صديقه لا يستجيب بالشكران . بل يقول بأن راصداً آخر قد يضع الثلاثة معاً ـــ الأستاذ وصديقه والجسيم ـــ في صندوق أكبر . وبذلك قد لا يكتسب هؤلاء الثلاثة وجوداً موضوعياً مستقلاً إلى أن يتفضل هذا الراصد الثالث فيفتح صندوقه .

هل نحن في صناديق صينية ، كل واحد منها ضمن آخر ، ويدين كل صندوق بوجوده إلى صندوق

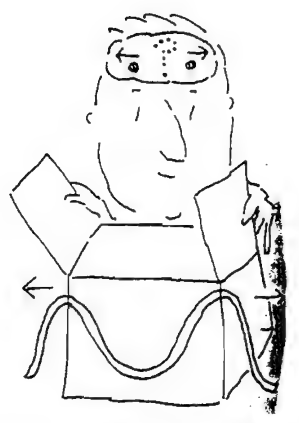
حكاية صديق فغنر (من اليسار إلى اليمين).



لقد اصطاد صديق فغنر تمكاً في صندوق.



إن التمك يصف جسيماً. إذا فتح الصديق الصندوق يمكن للتمك أن يهرب من الجانبين



التمكان يخرجان من الصندوق؛ لم يُكشف الجسيم بعد.

أكبر منه اتفق له أن يحويه ؟ وهل يوجد صندوق أخير ، أم أن سلسلة الصناديق لا حصر لعددها وأنها كلها تنتظر من الله أن يحقق لها بالرصد أحلامها ؟ إذا كانت الحقيقة حلماً فمن الحالم ؟ لو كان هناك حالم وكنتُ أنا هذا الحالم ، عندئذ لا يوجد شيء إلا أنا . إن هذا هو مذهب الأنانة ، وهو فلسفة ليست لها شعبية كبيرة ـــ لكنها مع ذلك متماسكة منطقياً . وأمام قضية الصناديق المتداخلة يقترح إيفيريت حلاً آخر : إن كل الهيئات الممكنة ، هيئات الحقيقة ، موجودة حقاً .

إن بورجيس Jorge Luis Borges يصف هذا العالم الفظيع في **حديقة المسارات المتشعبة** بأنه :

> سلسلة لا نهائية من الأزمنة في حالة نمو متفاقم ينتشر على شكل ألياف متشابكة تتباعد وتتقارب وتتوازى . إن هذا النسيج الزمني ـــ الذي تتقارب أسداؤه وتتشعب وتتقاطع ، أو يتجاهل بعضها بعضاً على مر العصور ـــ يحوي كل الإمكانات . ونحن غير موجودين في معظمها . أنت موجود في بعضها ، لا أنا ، وفي بعضها الآخر موجود أنا ، لا أنت ؛ ومع ذلك هناك ما نوجد فيه نحن الاثنان . وفي هذا الأخير ، الذي حُبيتُ حظ الوجود فيه ، تأتي أنت إلى بابي . وفي آخرَ وجدتني ميتاً بعد أن تجاوزتَ الحديقة . وفي واحد آخر أيضاً ، أقول تلك الكلمات نفسها ، لكني خطأً ، شبح .

ولإدراك فكرة العوالم المتوازية نحتاج إلى إعادة النظر في الآراء البديلة الممكنة بخصوص الحقيقة

مُزوَّدةً بتفاسير الفيزياء الكمومية . إن **المسألة** هي كيفية فهم العالم عندما يكون فيه أكثر من راصد واحد . ثم نحتاج إلى أن نفهم كيف يتسنى ــ لنا نحن المراقبين جميعاً ــ أن نتفق على نتيجة كل ما نقوم به من أرصاد .

لماذا يوجد مشكلة ؟ إن التفسير الأكثر شيوعاً يفترض أن العالم يتغير بطريقتين مختلفتين أساسياً : باليمّ وبالانديا‌ح . واليمُّ تغير مفاجىء تقطعي تجلبه عملية رصد يجريها راصد ما . وهذا تغير فجائي وغير سببي ، أي أن التنبؤ به يستعصي حتى على ميكانيك الكم . فهو إذن خارج نطاق قدرة الفيزياء الكمومية على التنبؤ بنزوات الطبيعة . فكلما « يمّ » العالم كان هناك من رصد شيئاً . أما فيما قبل « اليم » فيظل العالم غير مرصود .

إن العالم يتغير تغيراً استمرارياً واندياحياً . ولا نقصد أن أجسامه تتغير بهذا الأسلوب . بل إن التمكات ، التي تمثل هذه الأجسام ، هي التي تتغير بشكل استمراري واندياحي وسببي . لكن التمكات وحدها هي التي تمثل الحقيقة ، إنها لا تمثل الحقيقة بأكثر مما يمثل السفير الناطق باسم بلدِه بلدَه . فقد تحدث ثورة عارمة في بلده دون أن يظهر عليه أي اضطراب أو قلق ، وكأن كل شيء يسير على ما يرام في وطنه .

إن التمكات تمثل ما يمكن أن يتخذ مكاناً في الحقيقة . وميكانيك الكم يتنبأ بيقين بسلوك التمكات . أما تنبؤ التمكات بسلوك المادة فيشوبه ارتياب . ولو كان العالم يتمثل ، بطريقة ما ، بالتمك (أو ، في مثال السفير ، إذا وُجد ممثل لكل شخص من أناس الوطن الأصلي) لانداح دون أن يمّ ، ولكان عندئذ قابلاً لأن نتنبأ به .

لكن العالم لا يمكن التنبؤ به مبدئياً . والمسألة هي الشيء السحري الذي يمّ التمك . من يقرر متى يجب على العالم أن ينداح (يبقى غير ملحوظ) ومتى يجب عليه أن يمّ (يلاحظه شخص ما) ؟ لقد عبر أينشتاين عن هذا المأزق بكلام مرصع حين قال بأنه لا يستطيع أن يؤمن بأن فأراً يستطيع أن يسبب للعالم تغيراً إلزامياً بمجرد أن ينظر إليه . وإذا كان الفأر لا يم التمكات ، فمن يفعل ذلك ؟ هل هذا من اختصاص البشر فقط ؟ وهل يعيش الفأر في عالم تمكي شبحي من إمكانات تحدث كلها دفعة واحدة ؟ ربما كان من المريح أن تكون فأراً ، لا كائناً بشرياً !

ربما كانت مفارقة صديق فغنر تبدو من هذه الزاوية أكثر واقعية . إذ بدلاً من سلاسل رصاد داخلين بعضاً في بعض ، وكل واحد يرصد راصداً آخر ، تكون أنت بنفسك كل تلك السلاسل المتوالية في تداخلها . إن الكتروناتك ترصدها ذراتك ، وذراتك بدورها ترصدها جزيئاتك ، وجزيئاتك ترصدها خلاياك ، وخلاياك تراقبها حواسك ، وحواسك تُعنى بها جملتك العصبية التي تنفذ أوامر دماغك ، ودماغك ترصده أنت ، وأنت يرصدك .. أين تقف هذه السلسلة ؟ وما المرحلة التي توجد عندها الحقيقة كاملة ونهائية ؟ إن ميكانيك الكم لا يقول لنا أين يتدخل الوعي لتسجيل الحدث . لكنه ، بدلاً من ذلك ، يشرح لنا مبدئياً كيف يتفاعل كل ما ذكرناه . إنه يتنبأ بأن يحدث ، عند كل مستوى تفاعلي ، تشعب إلى شعبتين أو أكثر أحياناً . إنه يقول بأن كل مرحلة من المراحل تنطوي على مسارات ذات حظوظ متساوية في

الظهور إلى الوجود كنتيجة للتفاعل ، على شاكلة ما يحدث في مثال « قطة شرودنغر » بالضبط . إن ميكانيك الكم لا ينبئ أبداً عن زمن ظهور القطة المفردة . إن كل المسارات الممكنة ، التي ينطوي عليها ميكانيك الكم ، تتمثل بالتمك .

لكننا لو افترضنا أن الوعي موجود خارج العالم الفيزيائي (المادي) ، فمن أين يدخل ؟ لا يبدو أن هناك ميناء دخول يلائم العقل كي يصل إلى التمك ويسِّه (يفقعه) . وقد لا نكتشف أبداً طريقة تلائم العالم كما نرصده . وقد أخفقت حتى اليوم كل محاولات تعديل ميكانيك الكم بهدف إدخال الوعي فيه .

لقد عرض إيفيريت خمسة بدائل يمكن بواسطتها حل مفارقة الراصد . البديل الأول هو ذلك الذي انتهينا من عرضه . يوجد في العالم كله راصد واحد ، وللقارىء أن يفرح بذلك لأنه ـــ هو ذلك الراصد ! وكل الناس الآخرين يتبعون قوانين الانداياح الكمومية . إنهم يظلون في حالة حركة مؤجلة أو ، مهما كان ظنك بهم ، إلى أن تُهرع إليهم ، فتبِمُّ التمكِ وحسب . تهانينا ! أنا أشكرك على خلق هذا الكتاب والكاتب الذي كتب هذه الكلمات . لكنك عندئذ علمت هذه الكلمات على الطريق .

إن البدائل ، الثاني والثالث والرابع ، تحد من صلاحية الفيزياء الكمومية . وكل واحد منها يقول ، بمعنى ما ، أن لا بد من إضافة شيء ما إلى ميكانيك الكم . لكن ليس من السهل ، كما رأينا فيما مضى من هذا الكتاب ، أن نفعل ذلك بشكل منطقي دون أن نجعل ميكانيك الكم أغرب مما كان . فمن هذه الزاوية يكون كل ما تضيفه إلى الأساس لغماً من شأنه أن يدمر البناء .

وهكذا نصل إلى البديل الخامس والأخير . إنه يقول ببساطة إن العالم لا يمّ ، بل أن كل عمليات الرصد الجارية من قبل كل الرصاد هي تفاعلات محكومة ، بالتالي ، بقوانين السببية ، سببية العالم الكمومي . إن كل شيء انداياح . إن العالم متغير باستمرار وبشكل أملس . لكنه مع ذلك عالم غريب يتألف من كل العوالم الممكنة . يوجد تمك واحد فقط ـــ التمك الأعظم ، بكل فروعه المنتشرة في الزمكان كشبكة من صنع أمهر الصناع . لا يوجد أي وعي . لا حاجة لأي وعي .

الفأر لا يغير العالم ، إن العالم هو الذي يغير الفأر . تتشكل نسخ عديدة منه نفسه في كل عملية رصد ، وكل نسخة تتبع الطريق نفسه كإنسان آلي . لكن كل نسخة تتذكر ما رأت في التفاعل الأسبق ، كما تتحسس بالتغيرات التي تطرأ على ما يحيط بها . ففي أحد عوالم الفأر تُستذكر الجبنة البيضاء ، وفي عالم آخر ، من العوالم المتوازية ، تُستذكر جبنة حمراء . وكلما حصل تفاعل بين الفأر والجبن ، فإن الفرع الفأري ـــ الجبني من التمك الأوحد يتشقق إلى عدد من الفروع يساوي عدد تشكيلات ما يتحسسه الفأر من نكهات الجبن وطعم الجبن نفسه . فإذا كان للفأر جهاز تذوق كبير الحساسية فسيعلم نوع الجبنة التي يأكلها . وبذلك يكون من شأن كل نسخة فأرية أن تتذوق جبناً مختلفاً . أما ، من جهة أخرى ، إذا كان الفأر لا يحس بالفرق بين القشقوان والسويسري ، فلا يحدث أي انشقاق ، لكن الفأر يكون في الحالتين متذكراً خبرته الوحيدة ـــ وجوده الشخصي كفأر وحيد .

وهنا قد يخطر لك أن تقول : « حسن . هذا بشأن الفئران . وماذا بخصوص البشر ؟ إنك حتماً

لا تريد أن تقول إننا نحن أيضاً أناس آليون » . بلى فعلاً ، أقول ذلك . لأننا لسنا أكثر من فروع للتمك . وكل ما هو ممكن حادث فعلاً في طبقة عالمية موازية لطبقتنا . لكنك تحتج صارخاً : «لكنني واع ! أنا أكثر من آلة ! » نعم ، هذا صحيح ، أنت فرع تمكي . إنك في كل فرع من تابع الموجة العالمي الشمول . وأنت في كل فرع من فروع التمك الأعظم لا تعي إلا ذلك الفرع . لأن الفرع هو : غصن من تفاعل بين شتى الأشياء التي يمكن أن تتفاعل . وبما أن كل الأشياء يمكن أن تتفاعل ، فإنها تتفاعل .

قد تسأل : « لكن لماذا أستطيع الحصول على ما أريد حين أريده ؟ » . هذا لأن بعض الأشياء يمكن أن تحدث بطرائق أكثر عدداً من سواها ــ أي بتعبير آخر ، يوجد لها فروع أكثر ، إن الفرع العالمي الذي يتفق لك أن تكون فيه ، وحيث أنت بصدد قراءة هذا الكتاب ، هو واحد من عدة فروع يتيسر لها أن تحدث بوتيرة أكبر من وتيرة الفروع الأخرى التي لستَ فيها بصدد قراءة هذ الكتاب .

دعونا نفحص مثالاً آخر . سنشرح في هذا المثال كيف يحدث أن يكون كل واحد منا واعياً بمفرده للطبقة التي يحدث أننا فيها وكيف يحدث أن نكون كلنا مدركين بعضنا بعضاً وسنرى أيضاً كيف يكون أن نستطيع بلوغ أي نوع من الاتفاق حول ما يشاهده كل منا . زد على ذلك أن هذا المثال سيساعدنا على أن نفهم كيف يحدث أن نستطيع الاختلاف حول ما يحدث في حيواتنا . وعلى هذا سنعرف ، من وجهة النظر هذه ، كيف يحدث لعدة أناس كانوا قد رأوا كلهم حادثاً واحداً أن يروي كل منهم قصة الحادث بشكل مختلف عن الآخرين .

إن الناس مخلوقات حساسة . إنهم قادرون على الاستجابة لأنواع شتى من المحرِّضات بطرائق حساسة جداً . خذ مثلاً حاسة الشم . إن بضع ذرات فقط من المادة المنشوقة كافية لإعلامنا أن البطاطا تحترق ! الواقع أن الحساسية عامل مهم للكائنات الحية . ونستطيع أن نستخدم الحساسية البشرية كي تساعدنا على أن نفهم كيف يمكن أن نوجد في عدة طبقات أو فروع عالمية من التمك الأعظم وأن لا نعي مع ذلك إلا النسخة التي نحن فيها .

لقد سبق لنا كلنا أن سمعنا الجملة التالية : « إنها حادة الذكاء ! » ونعلم أن المتكلم يعني بها أن السيدة المقصودة ذكية جداً . ويمكن أن نُعرِّف الحدة بأنها « القدرة على تمييز الفروق قبل أن يميزها الآخرون »، على غرار استعمال المرء آلة حادة يقطع بها شيئاً . وعلى هذا فإن العقل الحاد « يقطع » ، أي يفصل رصداً عن رصد آخر .

دعونا الآن نتخيل أننا التقينا سيدة من هذا القبيل قادرة على قول الفرق بين جبن القشقوان والجبن السويسري ، وأن الجبن كان مهروساً بشكل يمتنع معه التمييز بين النوعين بالنظر . فلمعرفة نوع الجبن الذي بحوزتنا يجب أن نشمه أو نذوقه . فبموجب مذهب العوالم العديدة لميكانيك الكم تنشقُّ السيدة الذواقة ، فور أن تذوق الجبنة ، إلى عدد كبير من نسخ متماثلة من السيدة ذاتها ، نسخة لكل نوع ممكن من أنواع الجبن يمكن أن نتصوره قبل أن تذوق السيدة الهريس الذي أمامها . وفي كل طبقة عالمية تعرف السيدة ما ذاقته فقط . إن الطبقات متمايزة تماماً ، متمايزة بقدر ما يسمح لها ذكاؤها وحليمات الذوق على لسانها

بتحسس الفروق الملحوظة في طعم الجبن . ثم يظهر في القصة أحد الأصدقاء .

الأصـدقـاء نوعـان : نوع يتذوق أنواع الجبن ويميزها ونوع لا يحس بالفرق بين « ليدركرانس » و« موزاريلا »(*) . ولكن دعونا نفترض أن هذا الصديق من النوع الذواق . الفتاة تقدم لصديقها عيّنة من الجبنة . إنه لا يعلم طبعاً ما يُخبأ له ــ أي ، بالتحديد ، أنه سوف ينشقّ ، فور أن يذوق الجبنة ، إلى مليارات النسخ من ذاته ، وأن كل نسخة لا تعي ، بحمد الله ، هذا الانشقاق . فإذا كان لديه من حساسية تذوق الجبن ما لدى السيدة فسوف يشاطرها عوالمه . أي أننا سنجد الصديق متذوقاً القشقوان في كل طبقة تحوي السيدة متذوقة القشقوان .

لكن قصتنا هذه لم تنتهِ بعد . هل يعلم الصديق أن ما تذوقه هو الشيء ذاته الذي تذوقته سيدتنا المميِّزة ؟ هل يمكن لكليهما أن يجد السعادة معاً في فرعهما من التمك الأعظم ؟ نعم وبالتأكيد إذ اتفقنا على أنهما تذوقا الشيء نفسه . ولكي يحدث ذلك يجب على الصديق أن يرصد السيدة والجبنة كليهما . هل تذوقت السيدة ما تذوقه هو نفسه ؟

إن التأكد من أنها تذوقت الشيء نفسه الذي تذوقه لا يتم بالسؤال وحده . فتذوق الجبن فن بحد ذاته . إنه يتطلب تمييزاً يفوق حد الوصف . وعند هذه النقطة قد يصادف بعض القلق . إذ لو كان أشد حساسية منها ، فلن يجد فقط أنه في فرع آخر متعلق بأنواع من أجبان التمك الأعظم ، بل أيضاً أن لكل فرع من هذه الفروع ملايين التفرعات المتعلقة بكل الفروق في الحليمات الذوقية .

يمكن أن نقول أكثر مما قلناه بخصوص تفسير ميكانيك الكم استناداً إلى فكرة العوالم المتوازية . ويجب أن أعترف أنني أجد من المريح أن تكون الحقيقة بمجملها حتمية تماماً ، ولو كانت قطعتي الصغيرة من التمك الأعظم تشكو من اللا حتمية ومبدأ الارتياب . لكن اللافت للنظر بخصوص هذا التفسير هو أنه يُظهر أن التشكيل الرياضي قادر على تحديد تفسيره الخاص .

كانت هذه الملاحظة السبب الرئيسي الذي قاد إيفيريت إلى كتابة أطروحته . ثم عمد ديويت وغراهام إلى جمع ملاحظات إيفيريت مع تعليقات فيزيائيين آخرين في كتيِّب عنوانه : تفسير ميكانيك الكم بالعوالم المتعددة . ثم قدّم ديويت رأيه الخاص في هذا الموضوع ، وهو رأي أراه واضحاً جداً . إن إحدى أفكاره الرئيسية حول عمل إيفيريت تقوم على أساس أن العوالم النظامية العادية تحدث بوتائر تفوق كثيراً وتائر حدوث تلك العوالم المتمردة التي كل شيء فيها جنوني . هذا لأن وتائر الحدوث النسبية للحوادث التي تقع في أي من الفروع تكاد تساوي بالضبط عدد الفروع التي يقع فيها حادث وحيد . إن التجربة التي نقذف فيها خمسين ألف قطعة نقدية في الهواء تعطي لاحتمال ظهور الطرّة نفس القيمة التي تنطوي عليها تجربة قذف قطعة واحدة .

(*) نوعان من الجبن بطعمين مختلفين جداً . (المترجم)

وأخيراً ، هل نستطيع أن نقفز من فرع لآخر ؟ إن الجواب متعلق بتفسيرك . فبما أنك كائن في كل الفروع التي أنت فيها موجود ليس هناك حاجة للقفز . لكنك إذا كنت لا تحب العوالم المتوازية فلا يسعك سوى أن تقفز لأنك تبمّ كلما اخترت أن تفعل شيئاً . والسبب الوحيد في أنك لا تستطيع فعل ما يبدو مستحيلاً ، كالطيران في الفضاء ، هو أن العوالم التي تستطيع فيها أن تفعل ذلك هي عوالم متمردة لست موجوداً فيها كشخص هو أنت .

فماذا تستطيع إذن أن تفعل ؟ كلّ شيء تريده . إنك تفعله . إن التمك الشامل وسيط لبلوغ أي من الفروع . ولكن كن واعياً لما تريد فعله . فهناك طريق للذهاب من أي فرع لآخر . والزمن هو كل ما تحتاجه ، والزمن هو حقاً كل ما عليك أن تتعامل معه . وعلى هذا يصبح واضحاً أن الزمن هو المسرح اللازم للتغير . والوعي هو الانتباه لأي فرع اتفق لك أن تنتبه إليه : فإذا كنت منتبهاً لكل الفروع في وقت واحد يكون من شأنك أن تعلم كل ما يمكن معرفته ، أن تتحسس كل ما يمكن تحسسه . ومن شأنك أيضاً أن ترى التمك الشامل برمته ، لأنك تكون قادراً على أن ترى ، بكل يقين ، كيف تبدأ الفروع كلها وكيف يجب أن تنتهي .

وعندما يحين ذلك الوقت تصبح حراً . وإلى أن يحين ذلك واظب على تحويل المستحيل إلى الممكن . واظب على اختيار الفرع الذي تصوغ حياتك بمقتضاه . ولا تنس أنك في كل الفروع التي يمكن أن توجد فيها . فإليك يعود اختيار الفرع الذي اتفق أن اخترته . وبما أن المتعة شيء يرغب فيه كل الناس ، فقد يتفق أن تعم المتعة الجميع إذا انتبهنا كلنا إلى الفرع الذي نرغب فيه .

فكّر بالفروع وكأنها فروع شجرة ، وفكّر بالإحساس بذاتك وكأنه نسغ الحياة . وعليك أن تغذي الفروع الجيدة .



الفصل الرابع عشر

الإرادة البشرية والوعي البشري

لقد بدأ العالم

يبدو أكثر شبهاً بفكرة عظيمة منه بآلة

Sir James Jeans

أغرب مما نستطيع أن نتخيل

ياله من خيال !لا شك أنك قلت هذه الجملة مراراً بخصوص امرئ ما ، أو أن امرأً ما قالها عنك . ونحن عندما نفكر بأن شخصاً ما له خيال نشيط ، فإننا نقصد عادة أنه قادر على ان يجمع معاً أشياء أو أفكاراً لم يفكر بها أحد قبله : قوارير من ورق لتعبئة الحليب ، طيراناً فردياً شراعياً ، تنجيماً ، بطاقات حاسوبية صغيرة ، وأشياء أخرى لا حصر لها . من يفكر بأشياء من هذا القبيل ؟ وكيف يفعل الناس ذلك ؟ إذا كان ما يقوله رتشارد فاينمان صحيحاً فإن التخيل شيء من طبع الانسان ، كالتنفس . إنه يصفه بصفات الأعجوبة . وقد كتب :

> تصور مثلاً أنني واقف على شاطىء البحر وحيداً وأبدأ التفكير .. أمامي أمواج متلاحقة .. جبال من الجزيئات ، تقوم كل منها بعملها على هواها .. ملايين المليارات من أفراد قائمة بذاتها .. وتشكل مع ذلك بالانسجام معاً موجة تتكسر على الشاطىء .. عصوراً بعد عصور .. قبل أن يتمكن أحد من رؤيتها .. عاماً بعد عام .. تهدر كالرعد وتلطم الشاطىء كما تفعل الآن . لمن ولماذا ؟... على كوكب ميت ، لا تسهم في تغذية الحياة .. لا تهدأ أبداً .. تتلاعب بها طاقة .. تغذيها بسخاء شمس .. تسكبها في الفضاء .. هباءة فيها بحر زاخر .. وفي أعماق البحر تفعل كل ذرة ما تفعله سواها إلى أن تصنع كلها معاً موجات أخرى . وهذه تصنع بدورها موجات أخرى تشبهها . وتبدأ رقصة جديدة .. نمو مطرد الحجم والتعقيد .. أشياء حية ، كتل وذرات ، حموض بيولوجية ، بروتينات .. ترقص رقصات أشد غرابة .. من هذا المهد على الأرض اليابسة .. ذرات ذات وعي .. مادة ذات طرافة .. عجائب محيرة .. أنا .. عالم من الذرات .. ذرة في هذا العالم .

ذرات ذات وعي ، مادة ذات طرافة ؟ هل هذه أقوال غريبة على الفيزيائيين ؟ لا أعتقد ذلك . إنها لا تعدو إدراكاً بوقائع لا يمكن إنكارها . إن هذا الإدراك ، هذه النظرة التي تتيح للعقل أن يتخيل أنه نفسه موجود كعقل ، هو الذي اسميه وعياً . إن الوعي بدون خيال تناقض . إن العقل الذي يفتقر إلى الخيال عقل غافل .

ولكن مـا هو « العقـل »؟ ربمـا كان خير تعريف أستطيع إعطاءه هو أن العقـل « مجاز (*) (تخيلي) لكل المجازات (التخيلية) الممكنة » . فنحن ، مثلاً ، نرى أنفسنا « بعيون عقلنا » metaphor . إن العقل مفعم بالمجازات ، إنه مجاز بذاته . إن العقل ينظر إلى نفسه كي يعلم أنه موجود . وأنت ، عندما تقرأ ذلك ، قد يتضح لك أن كل شيء نقوله عن أي شيء هو مجاز ، هو إبدال خبرة بأخرى . إن كل تعريف يكون دوماً « بكلمات أخرى » أي ، بتعبير آخر ، أن « بكلمات أخرى » قول بديل . إن

(*) يعرِّف « المعجم المدرسي » ، الصادر عن وزارة التربية في سورية ، المجاز بأنه « كلام تجاوز معناه الأصلي إلى غيره بقرينة تدل على ذلك » . وهذا هو المقصود تقريباً بكلمة مجاز هنا . (المترجم) .

الكتابة ، أو الحديث ، عن عملية شيء يشبه دعم مرآة بمرآة أخرى كي تُرى صفات المرآة .

إن نظرة العقل إلى العقل عملية مشابهة . ولما كانت الذرات ذات الوعي تنظر إلى ذرات ذات وعي ، فإن لنا في التأمل والأسرار تجربة من هذا القبيل أيان نظرنا إلى العالم . أي أننا ننظر إلى أنفسنا . إن هذه العملية هي التي نسميها العالم . ويتابع الأستاذ فاينمان فيقول :

> ما هو هذا العقل إذن ؟ ما هذه الذرات ذات الوعي ؟ بطاطا الأسبوع الماضي ! إنه هذا الذي يتذكره الآنَ مما كان يجري في عقلي قبل عام ـــ عقل حل محله عقل آخر من مدة طويلة . إن هذا هو معنى أن يكتشف المرء كم مضى من الزمن على إحلال ذرات جديدة في الدماغ محل الذرات القديمة ، أن يلاحظ أن الشيء الذي أسميه « شخصي الفرد » ليس سوى صورة أو رقصة . إن الذرات تأتي إلى دماغي بخطوات راقصة ثم تخرج ذرات جديدة باستمرار ، لكنها تؤدي الرقصة نفسها على الدوام ، متذكرة ماذا كانت رقصة الأمس .

إذا كان صحيحاً أن العالم ليس سوى عقل ينظر إلى نفسه ، فما النفس إذن ؟

ميكانيك كمّ الوعي البشري

ما أنا ؟ إنني على يقين من أن هذا السؤال قد خطر ببالكم مرات تساوي عدد ما خطر ببالي . هل أنا آلة فقط ؟ هل عقلي وهم ، مجرد بناء يخرج من دماغي الآلي ؟ هل أنا ، كما يقول جون ليلي ، « حاسوب بيولوجي بشري سيال » ؟ إنني أشعر شعوراً داخلياً مبهماً أنني أكثر من ذلك . إنني ، على الأقل ، أفكر أنني موجود حتماً . ولكن إذا كنت حقاً أكثر من آلة فما الذي يميزني عن فتاحة العلب أو عن الغسالة الآلية ؟

يبدو أن الجواب هو : وعيي ، عقلي . لكنه جواب لا يسهل فهمه ؛ إذ ماذا أقصد بكلمة وعيي ، أو عقلي ؟ آمل أن أستطيع في هذا الفصل أن أُعرِّف الوعي عن طريق ما **يعمله** بدلاً من **ماهيته** . وأنا ، كفيزيائي ، تعلمت منذ مدة طويلة أنك لا تستطيع أبداً أن تشرح ماهية الشيء ، بل أن تشرح ما يعمله فقط . فعندما أقول مثلاً إن الإلكترون جسيم يحمل شحنة كهربائية سالبة وعزماً مغنطيسياً ، إنما أكون قد وصفت سلوك الإلكترون .

وعلى غرار ذلك فإن الوعي هو ما يفعله الوعي . ولكن ماذا يفعل الوعي ؟ إنه يؤدي وظيفة مثنوية ، ذات وجهين . إنه ، في دنيا الكموم ، الإدراك ونشوء الخبرة معاً . إنه **كينونة** الخبرة **ومعرفتها** . إن ظهور ميكانيك الكم في القرن العشرين قد محا الحد الفاصل بين فلسفة الوجود ontology (نظرية الكينونة) وفلسفة المعرفة epistomology .

وباختصار : المعرفة عقل والكينونة مادة . أما كيف ينفصل أحدهما عن الآخر فتلك هي العملية السحرية التي نسميها الوعي . كان الأستاذ باص L.Bass ، من قسم الرياضيات بجامعة كوينزلاند في أستراليا ، قد درس الارتباط بينهما فرأى أنهما في حالة تفاعل مستمر . كان هذا التفاعل بين العقل والمادة ،

أو المعرفة والكينونة ، قد حيرّ الفلاسفة قروناً عديدة وكانوا يسمونه « مسألة العقل ــ الجسد » . لكن نشرة باص : « التفاعل الكمومي بين العقل والجسد » في مجلة « أساسات الفيزياء » تقدم لهذه الحيرة القديمة حلاً مستمداً من الفيزياء الكمومية .

إن لهذه المسألة علاقة **بالإرادة** . إن حصول العمل لا يكفي بمفرده . بل المهم أيضاً **معرفة** أن العمل قد **حصل** . أي ، بتعبير آخر ، أن عليّ عندما أختار أن أعمل شيئاً ، أن أعلم كيف تجري عمليته وكيف أعرف أنني أفعل ذلك . ومن المدهش أن يكون عدم الحتمية الكمومي هو الذي يقود إلى خيارات حتمية على صعيد الخبرة المحسوسة . فإذا تلاشى عدم الحتمية هذا بطريقة ما ، فإن إرادتي لن تتحق . لن يكون لي أي خيار البتة .

إن كل هذا الاختيار يحتل مكاناً في داخلي بسبب قنوات مفتوحة في جدران خلاياي العصبية . إن هذه العصبونات neurons هي خلايا متطاولة قابلة للإثارة وتتكيف كهركيميائياً بشكل مناسب جداً لتصنع منظومة عصبية مركزية . ويقول باص بأننا قد خلقنا ، عبر عملية التطور ، جهازاً ضمن منظومتنا العصبية . وأنا أحب أن أُشبِّه هذا الجهاز بوكالة ، كوكالة الاستخبارات المركزية (CIA) ؛ فهو يجمع المعلومات مثلها .

إن هذا الجهاز موجود كوكيل يعمل مستقلاً في كل عصبون ، وربما في كل جزيء أو حتى في كل ذرة . إن كل وكيل حرٌّ في اختيار ما يريد حيث يريد وحين يريد . لكن الخيار محدود بعض الشيء : بين تسجيل الحقيقة وعدم تسجيلها . وفي هذا المستوى من الحقيقة تكون الحقيقة المسجلة مخلوقة . وبفعلٍ تسجيلي مفرد يقوم به أحد وكلاء منظومتي العصبية يتمُّ تمك صاف ويصبح الحلم حقيقة .

إن نموذج باص هذا يصل مباشرة بين الإرادة والحقيقة التمكية .. وهذه الحقيقة تحتل مكاناً ضمن عصبون مفرد . وكنتيجة لالتقاء غشاء الخلية مع زمرة نشيطة من الذرات في جزيء خميرة ضمن الخلية يُترك العصبون في حالة غير معينة بشكل حتمي . والتمك يصف الخلية على أساس أنها في حالة يتعذر معها القول بأنها قد انفعلت عدداً معيناً من المرات . إن هذه الحقيقة اللا محددة قد تدوم عدة حلقات زمنية دورية (عدة مرات من الميلي ثانية) .

لكن حينئذ يحدث شيء غير عادي ، حادث **لا يمكن** توقعه . إنه تسجيل الوعي للشكل الفراغي الذي تتخذه زمرة الذرات النشيطة في جزيء الخميرة . إن هذا الحادث المفاجىء وغير المتوقع هو الذي أسميه « فعل الوعي » . وعندما يقع هذا الحادث يصبح العصبون في حالة محددة . لقد انفعل فجأة عدداً معيناً من المرات . وأنا ، فوق ذلك ، مدرك له .

وفي القسم الثاني من هذا الفصل سنفحص ما يجري في مدة قصيرة جداً ــ نعني أنها قصيرة بالنسبة لمدة إحساسنا العادي . إن هذه المدة من رتبة خمسة في الألف من الثانية . إنها تقابل المدة بين النبضات أو بين ردود فعل العصبون الواحد . إن كثيراً من الأمور ، كما سنرى ، تحدث في المنظومة العصبية أثناء تلك المدة .

تفاعل ميكانيكي كمومي بين العقل والجسد : نموذج باص

كيف تريد من شيء أن يحدث ؟ ماذا يحدث ، مثلاً ، عندما تختار أن تنحني وتلتقط قلماً ؟ لماذا يحدث أحياناً أن نفعل أشياء بإرادة فكرية واضحة جداً ، وأن نفعل أحياناً أخرى ، وبعد ممارسة متكررة ، الأشياء ذاتها تماماً دون تفكير البتة ؟ إن الفعل الذي كنا نعيه ونوجهه سابقاً قد أصبح عادة ، أصبح فعلاً لا نعيه . إن قدرتنا على التعلّم مستمدة من عاداتنا المكتسبة ـــ كعادة الإنصات مثلاً . الظاهر أن التعلّم هو القدرة على تحويل الأفعال التي كنا نعيها إلى عادات لا نعيها ، جيدة أو سيئة .

يرى باص أن هذه القدرة التي لدينا ناجمة عن تطور الجهاز السحري المذكور أعلاه ، ذلك الذي يمّ تمكات منظوماتنا العصبية . لقد وضع باص هذا الجهاز في أحشاء منظومتنا العصبية المركزية نفسها . لم يكن هذا الجهاز موجوداً لدى أسلاف البشر في الماضي السحيق . إن التوجيه الواعي للحركات العضلية يعطي الانتخاب الطبيعي مزية قد يستغرق نشوؤها وتطورها عشرة ملايين عام وربما مئة مليون . إن هذا الجهاز قادر على الاختيار ، قادر على يمّ التمك حين يريد . وحجة باص هي أن « عملية التطور الطويل » وحدها قادرة على أن تيسر تسلل جهاز من هذا القبيل ، جهاز صار بناؤه اليوم عصياً على إمكانات العلم العملية . أي ، بتعبير آخر ، أن هذا الجهاز يمكن أن يعطي نتائج شتى ، بحسب سلوك التمك ، لا المادة .

تعالوا ننظر عن كثب أقرب إلى المنظومة العصبية المركزية . إنها مصنوعة من خلايا عصبية ، خلايا يمكن أن تُثار ، خلايا قادرة على احتواء تحول في قابليتها لنقل نبضات كهربائية على طول أليافها المتفرعة . ويمكن لهذه النبضات أن تُسبب تفاعلات كيميائية وقتية ، تقلصات في ألياف عصبية صغيرة متصلة بالخلايا العصبية . ومن هنا يتضح أن هذا الجهاز ، إذا كان موجوداً في كل مكان داخلنا ، موجود حتماً في خلايانا العصبية . إن خلايانا العصبية تتحكم بنا . لكن ما الذي يتحكم في « اشتعال » الخلية العصبية أو عدمه ـــ أي في قيادة التحول الكهربائي ؟

إن جواب باص هو : إن فعل الملاحظة ، أي الحدثَ الذي يقع في وعي راصد موجود في موقع مناسب ، هو الذي يسبب اشتعال الخلية ، وهذا الذي أسميه يمّ التمك . وعندما يمّ التمك يكون تابع الموجة قد تغير أو تعدّل . ومن لحظة تسجيل الحادث ، أي فور أن يصبح حادثَ وعي ، يصبح العالم مسرحاً آخر . هذا لأن تقييم الإمكانيات المتاحة الآن للراصد قد تغير أيضاً . بهذه الصورة ألاحظ قلماً على الأرض وأتوصل إلى التقاطه .

إن هذه العملية ليست كلها آلية فقط . لقد كان لدي خيار . لكن الخيار كان حرجاً جداً . كان بين تسجيل الحادث ، وعدم تسجيله . أستطيع أن أجعل ، أو أن لا أجعل ، الحادث جزءاً من وعيي . إن وجود القلم على الأرض شيء يظهر واضحاً بما فيه الكفاية . لكننا الآن بصدد حوادث في مستوى الخلايا العصبية فرادى . إن تسجيل الحادث هو الحادث الذي نتكلم عنه الآن . إن الموقف هنا يشبه راصداً يراقب نفسه في مرآة . إن إدراكاً جيداً سيحدث فور أن يشعر الراصد أنه يرصد نفسه . إنه في تلك اللحظة

لم يعد راصداً نفسه في المرآة، بل أصبح راصداً نفسه في عملية رصد نفسه، وفي اللحظة التي يتوقف فيها عن رصد نفسه منهمكةً في رصد نفسه يكون قد عاد إلى رصد نفسه في المرآة.

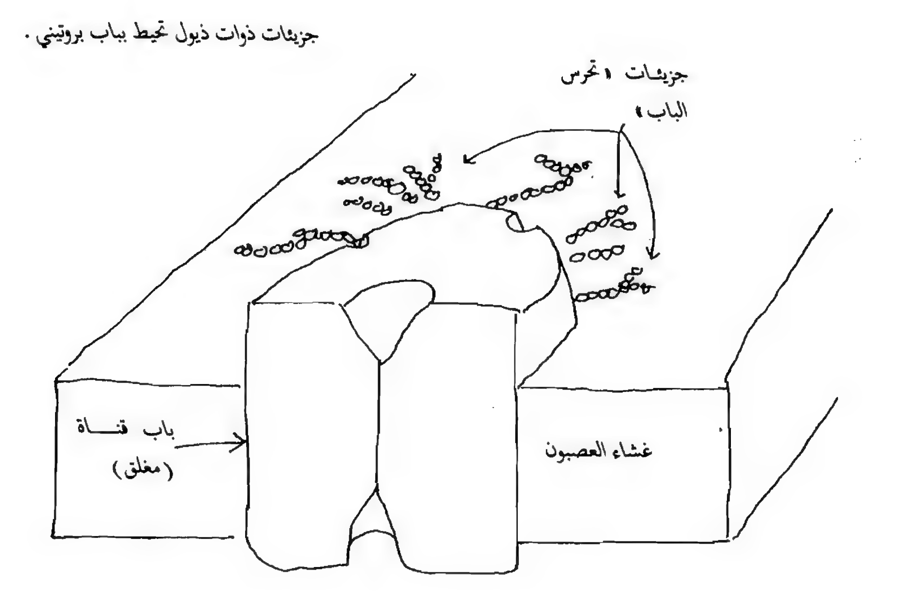
إن في هذا المفهوم لفاً ودوراناً لأنه ينعكس على نفسه. تشعر أنك تشعر عندما تشعر. مرآة تواجه أخرى وتسألها: « من الأجمل، أنت أم أنا؟ » ولكن ما الحادث الذي نتكلم عنه؟ هل هو الخلية وهي تُشعل نفسها؟ كلا. إنه أعمق من ذلك في سلّم الحوادث: إن علينا أن ننفذ ببصيرتنا إلى جزء صغير من الخلية العصبية. إن هذا الجزء التحتي يتألف من جزيء كيميائي واحد معقد. إنه جزء مصنوع من زمرة ذرات نشيطة في جزيء خميرة ضمن الخلية العصبية، ومكانه قريب جداً من جدار الخلية.

إن في الخلايا البشرية أنواعاً عديدة من الخمائر النشيطة. فهناك مثلاً من الخمائر البروتينية ما يؤدي دخولها في الخلية العصبية إلى تعديل قابلية هذه الخلية للاشتعال. ويبدو أن الخميرة تهاجم المداخل البروتينية من قنوات متخصصة تصل بين هذه الخلية والخلايا العصبية الأخرى. فتبعاً لشكل الخميرة ينفتح المدخل أو ينغلق فتشتعل الخلية أو لا تشتعل.

يمكن تشبيه الخميرة بحارس الباب. فكيف تقوم الخميرة بهذه المهمة؟ يبدو أن لها ذيولاً وأنها تظل معلقة بجدار الخلية (غشائها) قريبة من القناة جداً لدرجة أن مجرد حدوث تماس بين أحد ذيولها وباب القناة يجعل الخلية تشتعل.

إن الزمرة التحتية التي نهتم بها تقع في نهاية أحد هذه الذيول. ويضرب باص مثلاً نموذجياً اسمه ميتيلامين **methylamine** وهو جزيء يُنهي طرف السلسلة التي تؤلف الذيل. إنه جزء من ذلك الجزيء

جزيئات ذوات ذيول تحيط بباب بروتيني.

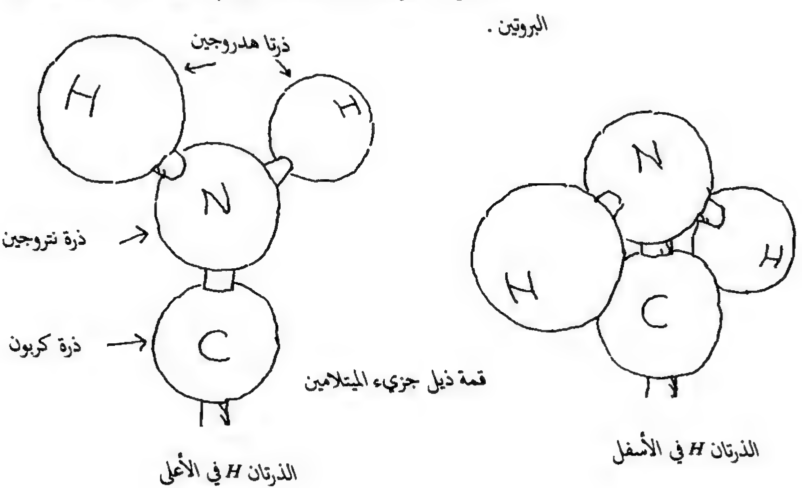


الصغير ، جزء مؤلف من ذرتي هدروجين وذرة آزوت (نتروجين) تتخذ معاً شكل مثلث ، وهذا الجزء هو الذي يتحكم في نشاط بعض الخمائر المهمة ، مثل الألدولازات aldolazes.وسنهتم كثيراً ، فيمايلي ، بهذا المثلث الجزيئي ، لأن الجهاز الذي نبحث عنه يتصرف في هذا المستوى الذري .

إن المشهد تتوالى أحداثه كمايلي : الخلية العصبية تشتعل . يعاني الباب البروتيني تغيراً في الشكل يلائم باب إحدى القنوات . يدخل الذيل من هذا البـاب . تشكل ذرتا الهدروجين خطاً قاعدياً عند طرف الذيل ، ويكون النتروجين فوق هذا الخط أو تحته . فإذا كان النتروجين (N) تحته ، فإن الذيل يتكيف للدخول كما يتكيف المفتاح لدى دخول القفل ، ويظل الباب مفتوحاً لاشتعال آخر بعد أن يغادر الذيل الباب .

«وعي» الخميرة الجزيئي ؟

لافتات كمومية: الوضعيتان الممكنتان للجزيء NH_2 بعد أن صادف باب البروتين .



أما إذا كانت ذرة النتروجين (N) تحت الخط القاعدي ، فإن الذيل يتكيف أيضاً مع الباب ، ولكن كصبي مهذب ، يغلق الباب بعد أن يلتقيه ؛ تلك هما الطريقتان الوحيدتان في تكيف قمة ذيل « المفتاح » مع قفل الباب . كل شيء على ما يرام حتى الآن . مثلث (قاعدته) نحو « الأعلى » يحتفظ بالباب مفتوحاً . مثلث نحو « الأسفل » يغلق الباب . فما الذي يحدث إذن ؟ إن كل شيء رهن بما إذا كنت تستشعر أو لا تستشعر . ألا ترى أننا أصبحنا في دنيا الكمّ ؟ إن إرادتك هي قيد التنفيذ .

المهمة المستحيلة : ممارسة الإرادة البشرية

رأينا في الفصل الحادي عشر مثال قطة شرودنغر . وربما تساءلت كيف يمكن للقطة أن توجد في حقيقتين متناقضتين وفي الوقت نفسه . صحيح أن القطط الواقعية لا تظهر بمثل هذه الصفات الغريبة . لكننا إذا نزلنا إلى درك الحقيقة الجزيئي سنجد نماذجنا الشخصية عن قطة شرودنغر . إنها الجزيئات والذرات التي صُنعت منها منظوماتنا العصبية .

فمن أجل القطة في الصندوق كان تفاعل الذرة المشعة مع القطة سبباً للحقيقة المضاعفة . قطة حية وقطة ميتة معاً ضمن الصندوق . لو كانت الذرة قد أصدرت جسيماً لكانت القطة ميتة . وإذا لم تفعل ذلك ستظل القطة حية . كانت الذرة هناك شبيهة بالسلوك الفعلي لمثلث الجزيء NH_2 . إن هذا الجزيء يشبه تماماً مثلثاً متساوي الساقين ، ذي ضلعين متساويتين . ولكن بسبب صغر حجمه يُسهم الجزيء المثلثي في الحقيقة الكمومية كي يظل متماسكاً .

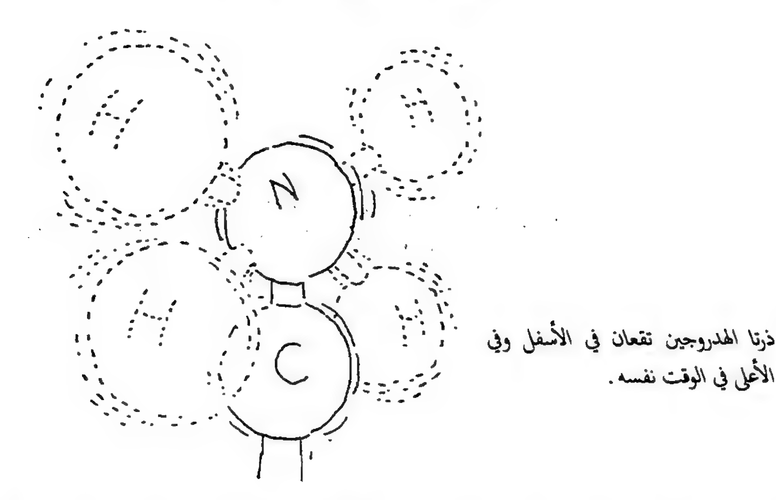
إن الجزيئات كائنات طريفة . كل منها مصنوع من ذرات متلاصقة معاً بقوة كهربائية . ولكن يبدو أن هذه القوى لا تكفي لكي يحتفظ الجزيء بتماسكه . ولو أصبحت القوى أشد تجاذباً أو تنافراً لتململت الجزيئات أو لا نفجرت أحياناً . لكن الملاط الكمومي السحري ينقذ الموقف ويصون الأسرة الجزيئية الذرية من هذا المصير . لكن الثمن باهظ : إن على أعضاء الأسرة أن يتخلوا عن أنانياتهم الفردية . عليهم أن يعيشوا في عالم تمكي يحتل مكانين أو أكثر في اللحظة نفسها . ومتى أصبحت أية ذرة من الجزيء متوضعة في مكان واحد يبدأ الجزيء بالتململ والارتعاش ويأخذ بإصدار فائض طاقي علّه ينجح في استرداد توازنه المستقر . ولا يشذ مثلثنا الصغير عن هذه القاعدة .

وبتعبير آخر نقول : إن ذرتي الهدروجين (H) لا توجدان منفصلتين عندما تكونان عضوين من جزيء . بل إن كل ما نراه منهما آثار تتخذ شكل أشباح تمكية تُذكّرنا بأنهما موجودتان مضمرتين . أما حضورهما الفعلي فلا يأتي إلا حين تُستشعران . وفي هذه اللحظة يرتعش الجزيء . إن الذرة المشعة في صندوق قطة شرودنغر تشبه مثنوية وضعية ذرتي الهدروجين في المثلث الجزيئي . فلكي تحصل وضعية مفردة يجب على المثلث الصغير أن يصادف باباً . إن القطة تؤدي هناك دور الباب البروتيني .

فبعد أن يتفاعل المثلث مع الباب يصبح للباب وضعيتان معاً ـــ مفتوح ومغلق في الوقت نفسه . وهذا ، مرة أخرى ، يشبه تماماً ما حدث للقطة بعد أن تفاعلت مع الذرة المشعة . إن تلك الباب ذو وضعية مضاعفة . والآن إذا كان الباب مفتوحاً فإن الخلية تستمر في الاشتعال ، ويستجيب لهذه الإشارة عصبون مجاور . فإذا استقبل صورتين أو أكثر تخبرانه أن الباب ما يزال مفتوحاً ، فإنه ينقل إشارة ذات تواتر عال تنبه الشبكة العصبية التي هو قطعة صغيرة منها .

أما إذا كان الباب مغلقاً فإن العصبون المجاور وحده ينقل إشارة ذات تواتر منخفض إلى شبكة المنظومة العصبيـة المركزية التي هو قطعـة منها . فأيهما يفعل ؟ إن هذا يتوقف عليك أو ، تدقيقاً ، على

عالم الجزيء الكمومي مستقر لكنه موضع ريبة: إن ذرات الهدروجين لاتوجد كذرات بل كتمكات شبحية.



ذرتا الهدروجين تقعان في الأسفل وفي الأعلى في الوقت نفسه.

وكيلك . إن على الوكيل أن ينتبه إلى التواتر ، أن يُصغي إلى الأنشودة . وبما أن المثلث كان في وضعيتين (كالذرة المشعة التي ربما أصدرت ، أو لم تصدر ، جسيماً) في وقت التفاعل مع الباب ، فإن الباب (كالقطة ، حية وميتة معاً) مفتوح ومغلق معاً ، بشكل مضمر ، في وقت واحد . فهو إذن يُشعل ، ولا يُشعل ، العصبون المجاور . وبالسير مع هذا التسلسل المنطقي للأحداث الممكنة نفهم أن الوكيل يتحسس معاً إشارة عالية التواتر وإشارة منخفضة التواتر في الوقت نفسه ، ومع ذلك لا يحس الوكيل حقاً بشيء بتاتاً (كراصد القطة الذي لم يفتح الصندوق بعد) لماذا ؟ لأن هاتين الإشارتين ليستا حاضرتين إلا بشكل خفي مضمر في منظومتك العصبية ، إنهما في دنيا التمكات .

إن على الوكيل أن يختار ملاحظة أن هناك ، على خطه ، إشارة ذات تواتر منخفض أو ذات تواتر عال . إن كل ما عليه هو أن يختار ذلك . وبمجرد أن يفعل تصبح الإشارة جزءاً من برنامج الوكالة . هب أنه لاحظ التواتر العالي ، وأن الباب مفتوح في المستوى الجزيئي ، أي أن الذيل المثلثي الصغير يتجه نحو الأعلى . ولو كان قد لاحظ تواتراً منخفضاً نستنتج ، من تتبع سلسلة المنطق نحو الوراء حتى نصل إلى المثلث الصغير ، أن هذا المثلث يتجه نحو الأسفل .

وسواء لاحظ هذا أو ذاك فإن شيئاً قد لوحظ ، أي أن اختياراً قد صُنع . والآن تعاني الخلية الأصلية نفسها نوعاً آخر من التحول : إنها تنقل ، فور حدوث الملاحظة ، قطاراً من النبضات الموجية المكروية إلى ليف عضلي مجاور يتقلص عندئذ آلياً . لقد كان الوكيل حراً تماماً في ملاحظة الإشارة في أي وقت . إذ لم يكن يوجد شيء يجبره على الملاحظة في ذلك الوقت المعين . وقد كان أيضاً حراً في أن لا يلحظها .

وماذا يحدث إذا لم يُعِر الوكيل انتباهاً للحقيقة المضمرة التي هي جزء من حقيقة منظومتك

العصبية ؟ هب أنه يجهل تلك الأشباح من عالمك التمكي . عندئذ لا يحدث شيء . أي أن الخلية الأصلية تسترخي في مغطسها الدافىء على هواها ولا تنبه الليف العضلي . أي أن الذيل المثلثي الصغير يحتفظ بوضعيته السابقة المجهولة ويظل متماسكاً .

إن أخذ علم بوضعية الذيل يسبب له ارتعاشاً . إنه عندئذ يتراقص ضمن الخلية مُصدراً التواتر المكروي الذي يُحرِّض بدوره الخلية على إعلام العضلة . تلك هي الخاصية الجوهرية لهذا النموذج : إنه يستخدم الارتياب الكمومي كأساس لفعل الإرادة . إن نقص المعرفة هو الذي يعطي كل وكيل إرادته الحرة . إذ أنه يختار كي يعلم .

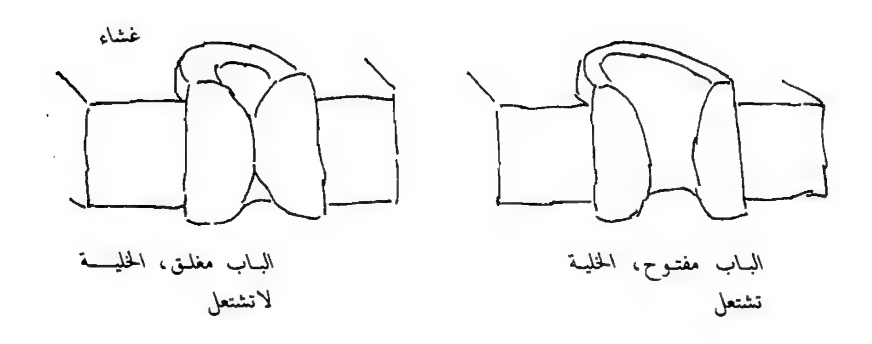
إن الوكيل يتكيف في عالم الخيال . هب أنه « يسمع » أزَّةً ذات تواتر عال . وهذا يعني أن الخلية أعلمت (أشارت) مرة ثانية ، ولكن مهلاً ــ هل تُعلم حقاً مرتين ؟ إن هذا السؤال يبرز حين نبدأ نهتم بالزمن الذي ينقضي بين الإشارة الثانية المفترضة وبين أخذ العلم بالتواتر العالي . إن هذه المدة القصيرة هي من رتبة خمسة بالألف من الثانية . ومن الصعب أن نحس جيداً بأي شيء في سلم زمني صغير إلى هذا الحد ، مع أن هذا هو السلم الذي تعمل فيه عادة منظومتنا العصبية .(*)

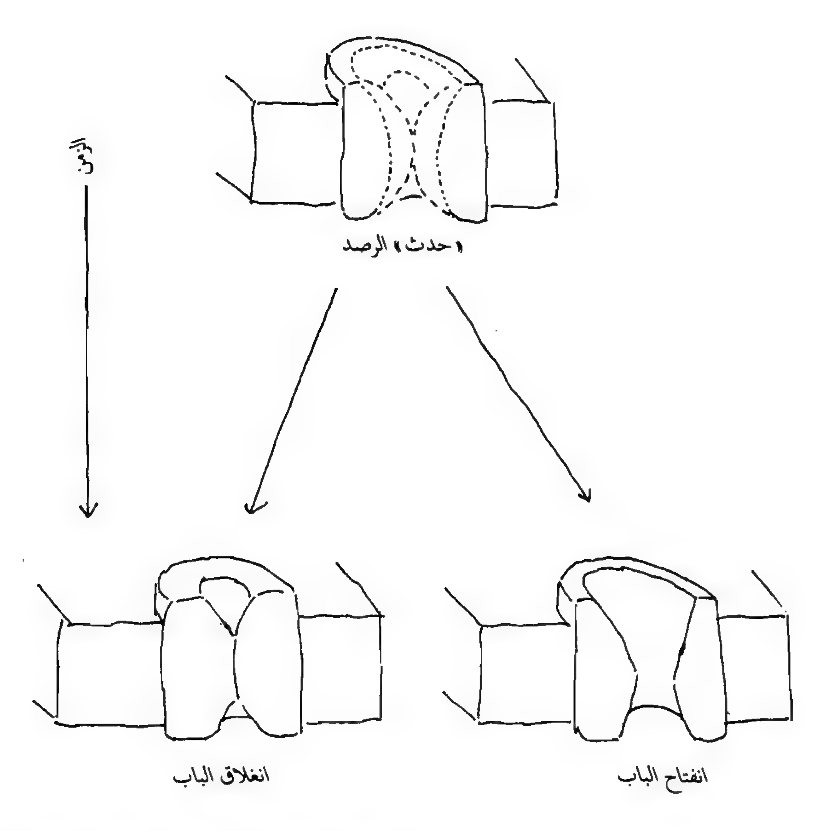
الواقع أن هذه المدة الزمنية القصيرة تفصل بين نوعين مختلفين جداً من الحوادث . فبخصوص الحادث الثاني لا يوجد خلاف يُذكر . إذ أن التواتر العالي لوحظ تحديداً بوساطة وكيل واحد للمنظومة العصبية المركزية . ولكن ما الذي حدث فعلاً في الحادث الأول ، عندما دخل الذيل في الباب ؟ هل ترك الباب مفتوحاً فاسحاً المجال لأزة التواتر العالي الأخير التي لحظها الوكيل ؟ أم هل أغلق الباب بعد أن التقاه ، مسبباً شعوراً بأزة ذات تواتر منخفض ؟ العجيب أن الجواب هو : كلاهما وليس أياً منهما ، الباب مفتوح ومغلق ، وهو أيضاً غير مفتوح وغير مغلق ، وعلى غرار راصد قطة شرودنغر ، الباب موجود في الحقيقة الثالثة .

والآن قد ينشأ اعتراض في ذهنك . لماذا ينبغي على باب الخلية أن يتصرف بهذا الشكل العجيب ؟ لماذا يجب أن توجد مدة زمنية بين هذين الحادثين ؟ لماذا ، فعلاً ، لا يكون الحادثان حادثاً واحداً ؟ الجواب هو : لو حدث هذان الحادثان بشكل آخر لزالت الإرادة الحرة ، وأصبحنا جميعاً مجرد آلات . فبدون هذا الفاصل الزمني القصير ، والثمين ، لكنا كلنا كائنات آلية تعمل بالاستجابة للأوامر التنبيهية ، على شاكلة المنظم الحراري في تدفئة البيوت .

إن المنبه البدئي يسبب حدوث التفاعل بين الذيل والباب . ومن لا شيء يحدث حادثان مضمران قابلان للحدوث . يمكنك أن تقول إن نوعاً من التوتر الديناميي ينشأ هنا . إن أحسن كلمة أستطيع أن

(*) يمكن أن نختبر ببساطة هذا السلم الزمني الصغير . إنه يقابل شيئاً يتحرك جيئة وذهاباً مئتي مرة في الثانية . فإذا لفظت الحرف إ في كلمة إيتِ وحده تكون قد أصدرت صوتاً يبلغ عدد هزاته في الثانية قرابة 250 . إنك تلفظ طبعاً أصواتاً أخرى أيضاً . إن خمسة بالألف من الثانية هي المدة بين دفعتين متواليتين من لفظ الحرف إ .





الباب المرتاب فيه، مفتوح ومغلق، بعد لقاء جزيء NH_2.

أصف بها هذا « الإحساس » هي كلمة نفساني . إن وكيلك بالمرصاد لما يملك إمكانية الحدوث . إن لديه اختياراً الآن . وهذا الاختيار لم يكن موجوداً قبل أن « يستشعر » المنبه ، قبل أن يلتقي الذيل الباب . إن الجزيء المثلثي الصغير يتغير بهذا اللقاء ، لكنه يظل متماسكاً بعض الشيء فترة ما . إذ أنه ، بالرغم من وجوده عندئذ في حالة مثارة ، ما تزال ذراته في حالة عدم يقين من المواقع التي سترتاح فيها . وهذا ما يجعل الجزيء يحجم عن زعزعة الذيل المتصل به . والوكيل الواقف بالمرصاد ما يزال أمامه خيار : بين أن يلحظ وضعية ذرتي H بعد اللقاء أو أن يجهلها . فبدون مدة التأجيل هذه ، على صعيد السلّم الزمني لتأملات العصبونات ، كنا سنصبح كومة حطام عصبية . كانت عضلاتنا ستكون في حالة ارتعاش متواصل من استجابتها لكل إشارة عصبونية . إن ميكانيك الكم ضروري للحياة وبالشكل الذي نعرفه فيه . فمن الارتياب تنشأ الحرية . ومن الذرة المترددة تأتي الإرادة الحرة .

لكن هب أن الوكيل قد لحظ أزة ذات تواتر منخفض . إن قمة الذيل تكون عندئذ نحو الأسفل ، مغلقةً الباب بعد اللقاء . ومرة أخرى تُلحظ وضعية ذرتي H ويرتعش الذيل ، وما دامت الوضعية ملحوظة فإن الخميرة تأخذ علماً بذلك من ذيلها ، سواء كانت قمته نحو الأسفل أو نحو الأعلى . أما العصبون فيأخذ بدوره علماً من الخلية ويخبر الليف العصبي بأن يتقلص . إن الخيار هو بين أن تلاحظ وأن تجهل ، وفي الحالين تنفذ مشيئتك .

لكننا أغفلنا في هذه المناقشة شيئاً . ما الجهاز الذي يم التمك ؟ وأين يوجد هذا الجهاز ؟ يبدو أن الجواب هو : لا مكان محدداً له . أما الجهاز فربما كان الشيءَ الذي نعنيه عندما نقول الكلمة السحرية « أنا » . إن الجهاز هو وعينا لوجود ذاتنا . إن « أنا » موجود لأنني اخترت أن أوجد .

الذرة و« أنا » : هل الذرات واعية ؟

إن نموذج باص يقدم جواباً . الوعي اختيار . لكن هذا الاختيار ليس من بين ما عرفنا أنه موجود سلفاً بشكل مادة . إنه اختيار يأتينا من دنيا التمكات ، دنيا تخيلاتنا . وقبل أن نختار (وهذا يكافىء القول : قبل أن ننتبه إلى أي شيء) كان العالم ذا وجهين متعارضين وليس في « الخارج هناك » . يوجد شيء حاضر اسمه « العقل » . العقل كائن في عالم الحقيقة الكمومية .

إن السمة المثيرة في نموذج باص هي أنه يربط معاً حادثاً كمومياً مفرداً (تعيين موضع جزيء فرد صغير) وحادثاً محسوساً (إثارة العصبون برمته) . لكن باص يحذّرنا :

> لئن كنا نملك أمثلة استطعنا أن نفسرها جيداً وأن نبرهن على أنها إثارة عصبونية كانت جذوتها حادثة كمومية مفردة .. إلا أن ذلك لا يكفي ، بصدد ما نحن فيه ، لكي يشتعل الحادث المحسوس بأي واحد من الحوادث الكمومية العديدة الممكنة (مثل تفاعل فوتون فرد مع أية ذرة من الذرات الصبغية العديدة) . وواضح هنا أن الانطباع الداخل في وعي الراصد يجب أن ينتمي إلى منظومة كمومية واحدة مفردة موصوفة بتابع موجي [تمك] .

هل تمتلك الكائنات البشرية هذه المقدرة ؟ هل يستطيع الإنسان أن يربط حوادث محسوسة بمنظومات كمومية مفردة يمكن أن تتمثل بتمك (كجزيء الميتيلامين مثلاً) ؟ لكي تكون هذه المقدرة موجودة لا بد لها من اقتران coupling وثيق بين العصبون ككل وبين قنواته الإيونية فرادى . ومن شأن هذا الاقتران أن يتخذ مظهر « نوع من الحساسية المعززة » أو الإدراك المعمق . ويرى باص أن :

> كل نموذج تفصيلي للاقتران الوثيق المطلوب بين قناة إيونية مفردة وبين إثارة العصبون سيكون نموذجاً تخمينياً جداً . ولكي ندرك كيف يمكن استنباط مثل هذا الاقتران يجب أن نتذكر أن هناك زمراً لها قرابة مئة قناة إيونية نظامية .. معروفةً بكفايتها لإمكانية الإثارة بالمساري الكهربائية electrodes ، لكن الظاهر أن عدداً أقل من ذلك يكفي إذا عرفنا الأجزاء المتخصصة من العصبون (التي تدعى أكمات محورية axon hillochs) ، نقاطَ انطلاق الاشتعال بشكل عادي بسبب قابلية الإثارة العظيمة للغشاء عندها . إن تعميم هذه السمات ، الموجودة موضعياً لدى أغشية العصبونات ، إلى الحدود المطلوبة في النموذج المعروض وفي مجموعة من العصبونات المتخصصة يبدو ضمن إمكانية الانتقاء الطبيعي .

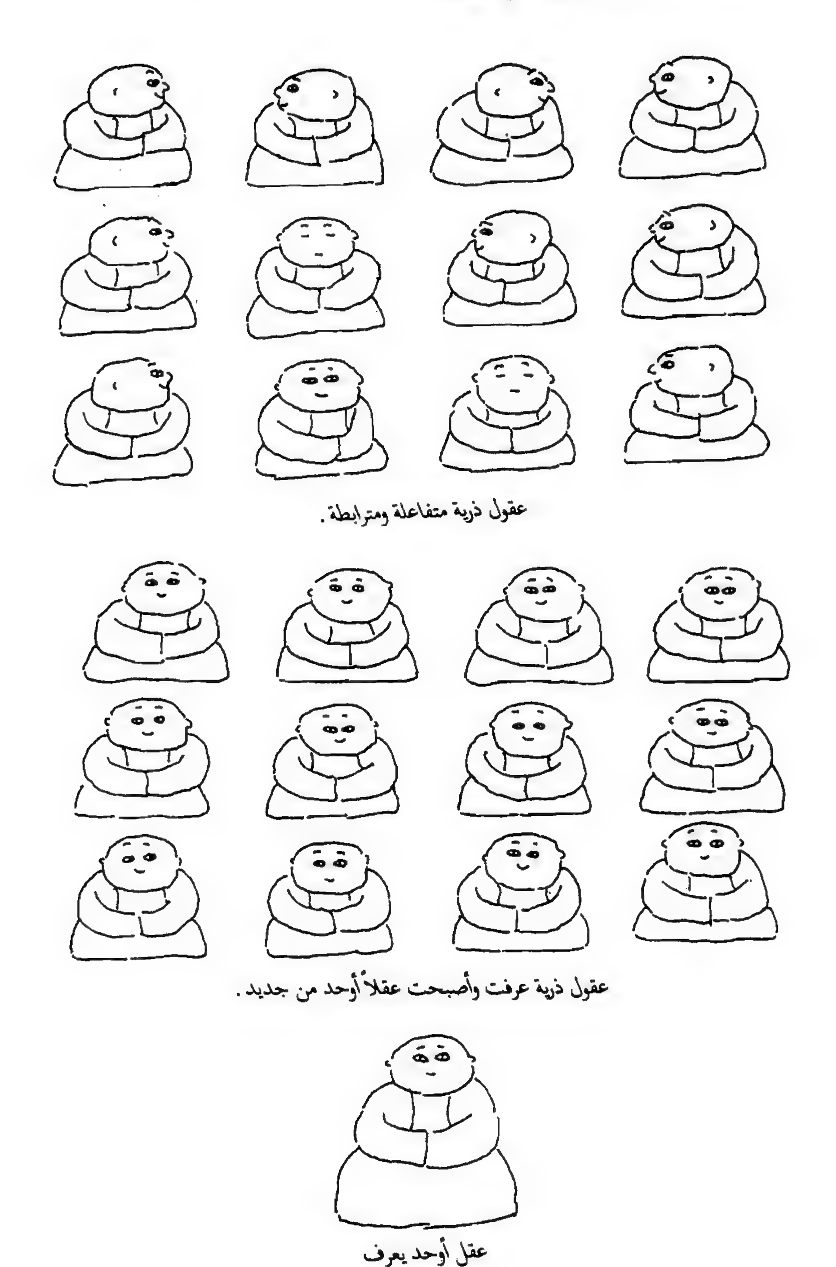
إن جهاز باص يغير التمك ، إنه يمُّ تابع الموجة . لكن أين موضعه ؟ ليس له موضع . إنه العصبون الحي نفسه . إنه الخميرة التي تعمل ضمن العصبون . إنه الجزيء العامل في نهاية ذيل الخميرة ضمن العصبون .إنه الذرة العاملة ضمن الجزيء الموجود في نهاية ذيل الخميرة المعلقة بجدار العصبون . إنه الذرة الواعية تلحظ نفسها فتخلق بذلك نفسها . إن الوعي عملية تُحوِّل الحقيقة من الشكل المضمر إلى الشكل الواقعي . إنه التمك حين يمّ . إنه التابع الموجي حين يتقلص .

إن الوعي بدائي في المستوى الذري ، ولكن بالضرورة . إن العصبونات تحوي أعداداً من الوعي ربما تساوي عدة مليارات . وليس هناك ما يمنع من أن نسمي كل وعي عقلاً . إنها ، كلها معاً ، عملاء يتم بها صنع وكالة استخباراتك . وفي المستوى الذري يؤدي كل عميل مهمة واحدة : مهمة أن يلحظ نفسه . إنه يشبه حقيقة مضمرة تلحظ حقيقة مضمرة أخرى ضمن التمك النقي الواحد . ثم « تظهر » إحدى هاتين الحقيقتين بذلك الحدث السري المفاجئ . إن فعل الوعي هو نشوء حقيقة في المستوى الذري والجزيئي . الآن أُخطرَ العصبون بأن يخبر العضلة . الآن يُخبر العصبون العضلة .

ربما كان هناك ، في هذا العصبون أو ذاك ، عدة مليارات من العقول ؛ بعضها يلحظ الأزّة العالية وبعضها يختار الأزة المنخفضة . إن هذه العقول ، العقول التي لا تُحصى ، والتي يعمل كل منها لحسابه مستقلاً تقريباً عن الآخرين وغير آبه لوجودهم جميعاً في معظم الأحيان ، تعمل كلها معاً في مصلحتك . والواقع أنها تعمل كأنها تنوب عنك لدى اختيار ما تراه أنت كحقيقة . إن كل هذه العقول « تُنجز » معاً صنع عقلك . إنها « وكالة استخباراتك المركزية » . وعندما يثير حادث خارجي لقاءً كمومياً بين الخمائر وأبواب العصبونات ، فإن هذه العقول البسيطة تتضافر عشوائياً ، فيرى بعضها ذرتي الهدروجين في الأعلى ويراهما الآخرون في الأسفل . إنها عقلك النظامي العادي ، عقلك المستيقظ (أو ربما النائم) .

إن هذه العقول ، عندما تؤخذ عشوائياً ، تشكل شبكة من عدم المعرفة ، حوضاً من اللا وعي . وعلى هذا فإن عقولك فرادى تعرف ما يجري ، في حين أن وعيك الإجمالي ليس لديه أية فكرة عن دوافع

يمكن أيضاً لهذه العملية أن تحصل من «العقل الأوحد، العارف» نحو «العقل الأوحد غير العارف» قد تكون تلك الطريقة التي أغفلناها.

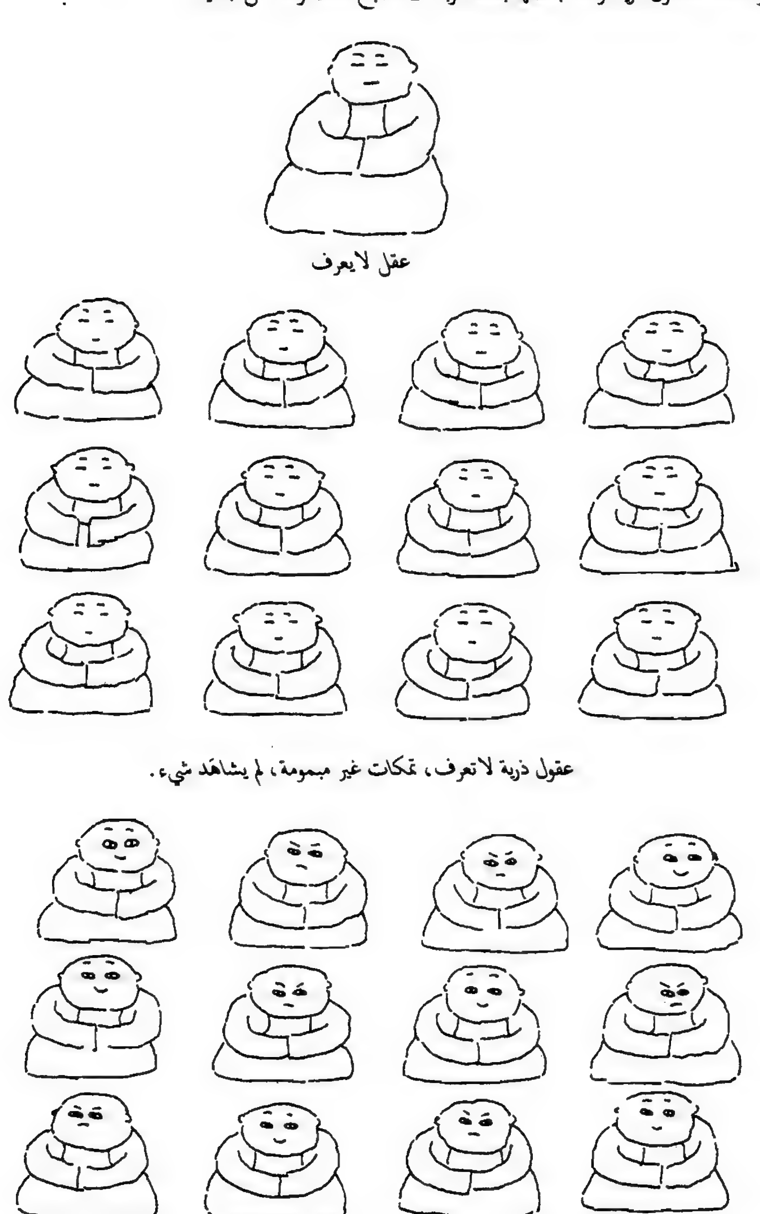


عقول ذرية متفاعلة ومترابطة.

عقول ذرية عرفت وأصبحت عقلاً أوحد من جديد.

عقل أوحد يعرف

صور تخيلية: كيف نتعلم «انجاز صنع» عقولنا. بعد مشاهدة معطيات العالم يصبح العقل الأوحد عدة عقول ذرية ترصد بعضها بعضاً وبذلك تصبح عقلاً أوحد من جديد.



عقل لايعرف

عقول ذرية لاتعرف، تمكات غير مبمومة، لم يشاهَد شيء.

عقول ذرية تعرف، تمكات مبمومة، شوهدت الأشياء

نزوعك إلى اضطهاد القط . إن سلوكك يصبح فعلاً معتاداً غير واع ، كامتطاء الدراجة (البسكليت) . فعندما بدأت تتعلم امتطاءها كان عليك أن تطيع عقولك ، كان عليك أن تصغي إليها مستغيثة كلها ، لا لأحد ، وهي تكتشف هدروجينات ، نحو الأعلى أو نحو الأسفل ، وعلى أساس أنها كل الجمهور الذي يسمى « أنت » فاقداً التوازن هاوياً نحو الأرض .

لكنك تنهض من جديد . يتولى « أنت » الأمر . تركب الدراجة . تصور امتطاءك لهذه الدراجة . تذكَّر كيف كان شعورك عندما كان والدك أو أحد أقربائك يدفعك ويدعك وحدك . كنت في حالة نقية ، كانت تمكاتك غير مبمومة . كنت لا تعرف كيف تركب . كنت قد بدأت تتمايل . أصبحت حذراً . كانت عصبوناتك قد اشتعلت داعية جزيئات NH_2 إلى ملاقاة الأبواب كي تكتشف ما يجري . تذوقتْ جزيئات NH_2 الأبواب ثم ارتدت عنها . أصبحتْ مثارة ولكن متماسكة . تضاعفت الأبواب ، إنها دنيا التمكات . إنَّ تمكك كان ما يزال نقياً وغير مبموم بعد الملاقاة ، وكنت قد هويت .

كان كل وكيل ينظر إلى نفسه باحثاً عن الأضرار الممكنة . ورأى كل وكيل الوضعيتين الممكنتين ، ثم اختار ، فبمَّ التمك . كانت الأبواب حينئذ إما مفتوحة وإما مغلقة ــ لا شيء وسطاً بينهما . وعرف كل وكيل ، وعرضوا كلهم معاً مجموع ما عرفوا . فكانوا « أنت » ، أنت عرفت . أنت فعلت . لقد اخترت أن تفعل شيئاً . لقد توقفت أو انعطفت إلى الطريق الآخر أو أعملت قدميك بسرعة أكبر .

إن هذا الوعي المجمَّع هو وعيك لأوعائك . إنه نوع من الإشراف . إنه يرصد الرُصاد . إن كل أفعال الوعي الأخرى تشكل لديه حالة هي مزيج من تمكات مبمومة . إن مزيج الحالات هذا يطابق إذن فيزيولوجياً مليارات من الذرات ، كل واحدة منها موجودة في حالة من الحالتين الممكنتين ، ذرتي الهدروجين نحو الأعلى أو نحو الأسفل .

إن وعيك الأول يعمل وهو يتعلم ركوب الدراجة على طول المسيرة من الوعي الإجمالي إلى ذراتك . وبهذه الطريقة تربط سقوطك عن الدراجة بإحساساتك الذرية . لقد كنتم جميعاً « عقلاً واحداً » . ولكن بعد أن تُبَمَّ كل تلك التمكات تصبح أنت ذا « عقول عديدة » ، وفي هذا فرق كبير . كانت مفردات « العقول » قد تدربت ، كانت تلاحظ وكانت تشكل معاً تجمعاً عشوائياً غير واع مؤلفاً من عقول ذرية تعمل كلاً على حدة .

الكل من أجل واحد وواحد من أجل الكل : أين يوجد عقلي ؟

لقد اكتشف وِلدر بنفِلد W.Penfield ، جراح الأعصاب الشهير والباحث في شؤون العقل ، من خلال دراسة شاملة لعدة حالات أن العقل ليس له مكان واحد ضمن الجسد . وقد قال في كتابه ، سرُّ العقل : « إن افتراض أن الوعي أو العقل له مكان هو افتراض خاطىء لفهم فيزيولوجيا الأعصاب » . ولكن إذا لم يكن للعقل مكان ، فأين هو إذن ؟

يبدو أن العقل في كل مكان . إنه رقيب في دنيا الذرات والجزيئات والعصبونات والخلايا والنسج والعضلات والعظام وسائر الأعضاء ـــ إنه يراقب في كل سلالم و أقسام الوجود الفيزيائي . إنه يرى كل شيء ، من جزيئاتك NH_2 إلى نعليك . إنه عقل واحد قادر على العمل بمنزلة عدة عقول ذرية . إن بين العقل الأوحد ومفردات العقول الذرية فرقاً دقيقاً مقصوداً . إن العقول الذرية تمّ التمكات . إنها تنشط في مستوى ميكانيك الكم . تتعامل مع دنيا الاختيار العجيبة بين إمكانيات التمكات . ولا تتقرر اختياراتها إلا حين تختار . إن كل فعل يقوم به عقل ذري هو تمك يُتَمّ . وعندما يفعل العقل ما فعلته يكون الباب قد لوحظ مفتوحاً .

إن العقل الأوحد لا يتعامل مبدئياً مع الحقائق الذرية بل إنه يتعامل في الواقع مع العقول الذرية فقط ، ويتعامل بالتحديد مع ما كان قد خُلق بالاختيارات التي اتخذتها العقول الذرية . إنه يعمل كلاقط معلومات . ففي مثال مفارقة المكعب « يرى » العقل الذري المكعب من وجهه الأمامي . والعقل الأوحد يجمع معاً كل صور المكعب التي التقطتها شتى العقول الذرية الناشطة .

وبجمع كل ما التقطته العقول الذرية ينجز العقل الأوحد صنع عقله . إنه يخلق ، بكل معنى الكلمة ، « عقلية » واحدة . وبفعل ذلك آلياً يحوّل العقل الأوحد تجاربه الجديدة إلى خبرات قديمة ويصنع العادات . وفي حال اشتعال العصبون لا تهم وضعية الجزيء NH_2 التي لا حظها أي عقل ذري مفرد . فملاحظة الوضعية وحدها ـــ المثلث نحو الأعلى أو نحو الأسفل ـــ تكفي لاشتعال العصبون . وهكذا فإن سلوك الشخص ككل يكون معيناً رغم أن العقل الذري غير قادر على تعيين ما سيلحظه . ويذكّرنا باص بأن « الفعل الواعي الذي كان موجّهاً بأسلوب تدريجي يصبح آلياً بسبب تكراره المتواتر ، وبالرغم من الامّحاء الذي يطرأ على الوعي فإن الحركات العضلية العملية تظل على ما كانت عليه قبل الامّحاء » .

إن الحرية الوحيدة التي يتمتع بها العقل الأوحد هو أن يكون ، في وقت واحد ، كل العقول الذرية وأن لا يكون في الوقت نفسه أياً منها . ولا توجد حدود واضحة بين العقل الواحد وبين أي وعي ضمن الجسد . ويعود سبب هذه الحرية إلى أن العقل ليس له موضع مكاني . إنه يعمل نفسانياً بطريقة الراصدين اللذين يرصدان مكعبي المفارقة المترابطين المذكورين في الفقرة الأولى من الفصل الحادي عشر ؛ إذ كان كل راصد يرى مكعباً بوجه أمامي معين . ولم يكن أي من العقلين قادراً على أن يتنبأ أي الوجهين كان في المقدمة ، مع أن كليهما كانا يريان الوجه المتقدم نفسه . كان الأمر يبدو وكأن كل واحد رأى المكعب نفسه ، أو أن كلا منهما كان جزءاً من عقل واحد فقط .

إذا كانت هذه الفكرة صحيحة يكون الوعي قادراً على أن يتحسس الأشياء في السلّم الذري . إنها إمكانية ارتداد عقلي . أي أن أحداثاً جديدة يمكن أن تُستقبل في المستوى الذري ، المستوى الذي تصبح فيه الحقيقة المضمرة حقيقة واقعة .

إن جوليان جينز ، الذي ذكرناه في الفصل الأول بخصوص رأيه في عقل ذي حجرتين ، يفترض أن الإرادة الباطنية ـــ إمكانية أن يحس المرء بأنه يتحكم بمصيره ـــ كانت إضافة حديثة العهد على التطور

التدريجي . كما أن جينز يبيِّن أن الفُصام schizophrenia العصري « تأسل throwbach » ، أي من مخلفات العهد الذي لم يكن البشر فيه قد اكتسبوا عقولهم « المريدة » . فهل كان ذلك هو اتصال « العقل الأوحد » بالعقول العديدة ؟ هل كان حادثَ انفصال الحجرتين في أثناء اكتساب الإنسان جهاز باص ؟ هل حدث ، منذ ثلاثة آلاف عام ، هذا الحادث لأن عصبونات ذلك الشخص كانت قد أنهت تطوير ما يلزمها من اقتران وثيق مع قنوات اشتعالها ؟ أظن أن هذا هو الذي حدث . لقد اكتشف البشر ماهيتهم حين أصبحوا واعين ذرياً . أو ربما كان من الأحسن أن نقول إنهم تعلموا كيف يعيشون في حقيقة كمومية .

قد يكون النبي موسى أول حالة نموذجية من الوعي الكمومي ، حين سأل « من أنت » وهو في حالة شعور بالحضرة الربانية أمام النار . لقد أتاه الجواب : « **أنا الذي أنا** » . لقد أحس موسى آنذاك ، في أعماقه ، أن صوت الله يتكلم كأنه موسى . ومنذ ذلك الوقت بدأ البشر يتدخلون في مصائرهم . فأنا ، عندما أصوِّر « العقل الأوحد » متصلاً بمفردات العقول الذرية ، أتذكر كلمات أستاذي كارلو سواريز ، حين سئل عما إذا كان على المرء أن يبحث عن روحه فأجاب : « كلا ؛ لا تقلق ، إنها سوف تجدك » . إن ذاتي العلية تبحث عني . إن « عقلي الأوحد » يسعى إلى العثور على عقولي المبعثرة .

هل يوجد برهان على هذه النظرية ، نظرية العقول العديدة ؟ إن البحوث الجارية على تقسم العقل تنبيء فعلاً أن لدينا عدة عقول . كل واحد يتمم في عمله أعمال الآخرين . وبهذا الصدد يقول جينز في كتابه ، مبادىء علم النفس :

> قد ينقسم الوعي الكلي لدى بعض الناس إلى أقسام تعيش جنباً إلى جنب ولكنها تجهل بعضها بعضاً ، وتتقاسم أغراض المعرفة فيما بينها . والأدهش من ذلك أنها متتامة .

إذا كانت هذه الأقسام العقلية تعمل بشكل آلي ، ربما تكون التتامية التي يعنيها جينز نفس التتامية التي كان بور يعنيها ويبرهن عليها في دنيا الذرات . وباتباع هذا الخط الفكري تصبح المجازات كلها غير مجازية ، بل تكون بكل بساطة توصيفاً للحقيقة في عدة مستويات من الإدراك معاً . فشعورك بالحماس ، مثلاً ، هو ذراتك في حالات حماس . وبما أننا جزء من العالم فلا بد أن تكون التتامية الذرية موجودة في داخلنا أيضاً . إن مجموع هذه الأوعاء المتتامة تصنع عالمنا الذي ندركه ، عالم الحقيقة السببية التقليدية .

ولكن ماذا عن العالم الكمومي ؟ هل تتصل فيما بينها شتى العقول النهرية التي تؤلف العقل الأوحد لدى المرء ؟ هل تستطيع أن ترصف عقولك الذرية على أساس منطقي ؟ إذا كان ذلك ممكناً فإن مفعوله يكون رائعاً وسحرياً .

تصور أن عقلك الأوحد رئيس منظومتك العصبية المركزية . وتصور أن مفردات عقولك الذرية وكلاء تعمل مستقلة بعضاً عن بعض . تذكر أن لا فرق بين أن « يُلحظ » الجزيء متجهاً نحو الأعلى (↑) وبين أن يُلحظ نحو الأسفل (↓) . ففي كلتا الحالين ، وبما أن « الملاحظة » قد حدثت ، يُتخذ

قرار نافذ ويتقلص ليف عضلي . هب ، مثلاً ، أن وكيلاً ذرياً ، عاملاً وحده ، لحظ التسلسل التالي بمرور الزمن :

الزمن

↑↑↑↓↓↑↑↓↓↓↓↑↑↓↑↑↓↓↓↓↑↑↑↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↑↓↑↓↓↑↓

من الصعب على خليط عشوائي من ذرات H بهذا الشكل أن يسبب « للرئيس » ، « للعقل الأوحد » ، نشاطاً ، رغم أنه كاف لإحداث التقلص العضلي اللازم . إن الرئيس حر في البحث عن أشياء أخرى ، أفكار أخرى ، حقائق عصبونية أخرى . وبالنتيجة يّمحي من الوعي هذا الاختيار الموجَّه مرة واحدة ، هذا رغم أن العضلة ، المدربة الآن ، تتقلص . إن الأمور تحدث بشكل شبه تلقائي ، شبه آلي . إن سلسلة الأسهم العشوائية هذه ، المتعلقة بخليط عشوائي من الأزّات ، بتواترات عالية أو منخفضة ، لا تشكل على خط المنظومة العصبية المركزية شيئاً كمومياً ، بل سلاسل من الظواهر الموضوعية التقليدية .

إن المفعول الإجمالي يكون أن ذرتي H تكونان نحو الأعلى أحياناً ، وغير ذلك أحياناً أخرى . أي ، بتعبير آخر ، لا يحدث أي شيء غير عادي . لكن هذا في حال وكيل شغّال واحد : هب الآن أن عدة عقول ذرية تعمل وتلحظ ، ولنفحص حالة ثلاثة عقول ، مثلاً ، يلحظ كل منها سلسلة معينة عشوائية . لنرقِّم هذه العقول بـ 3,2,1 . قد تظهر السلاسل الملحوظة على الشكل التالي :

الزمن

المكان

(العقل 1) ↑↑↑↓↓↑↑↓↓↓↓↑↑↓↑↑↓↓↓↓↑↑↑↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↑↓↑↓↓↑↓
(العقل 2) ↓↓↓↑↑↓↓↑↓↑↑↓↓↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↓↑↓↑↓↑↑↓↓↑↓↓↓↑↓↑↓
(العقل 3) ↓↑↑↓↑↓↑↓↓↑↓↑↑↓↑↓↓↑↓↓↑↑↑↓↑↓↑↓↓↓↑↑↑↓↑↓↑↓↓↑↑

إن التوالي العشوائي للسلاسل الثلاث من شأنه أن لا يؤدي إلى أية ظاهرة كمومية . وهنا أيضاً لا يحدث شيء يثير الرئيس . لكن الإرادة تساهم الآن في الموضوع . يجب على العقول الذرية أن يلحظ بعضها بعضاً . أي أن اتصالات تحدث فيا بين العقول الذرية . يحدث عندئذ شيء مذهل للعقل « المليء بالأصوات » . وربما رأى موسى النار المشتعلة . إن صورة مفردات العقول ذات ترابط جزئي ، إنها نسخ بعضاً من بعض . فتصبح مثلاً كالتالي :

الزمن

المكان

(العقل 1) ↑↑↑↓↓↑↑↓↓↓↓↑↑↓↑↑↓↓↓↓↑↑↑↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↑↓↑↓↓↑↓
(العقل 2) ↑↑↑↓↓↑↑↓↓↓↓↑↑↓↑↑↓↓↓↓↑↑↑↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↑↓↑↓↓↑↓
(العقل 3) ↑↑↑↓↓↑↑↓↓↓↓↑↑↓↑↑↓↓↓↓↑↑↑↓↓↑↓↑↓↓↓↓↑↑↑↓↑↓↓↑↓

أي أن العقول كلها تشهد النموذج السلسلي نفسه من الأسهم . « تسمع طبالاً واحداً » . ومثل هذا الترابط يكون ملحوظاً لدى الرئيس ويحدث « شعور » بإدراك جديد . « أفكر فأكون » .

إننا في هذا العصر متعودون على علاقة مكانية موجودة في عدة عقول معاً . لكن العقول موجودة في أجساد مختلفة . وممارسة تناغم الحركات هي ، في رأيي ، مثال نموذجي . والتفكير الجماعي يؤدي إلى نتيجة مماثلة ، إلى « روح الفريق » . وربما كان هذا هو الذي نعنيه عندما نقول بوجود « تآلف جيد » بين مجموعة أشخاص ـــ إن تصوراتهم الواعية متماثلة . إن الترابط المحلي يجعلنا من « عقلية واحدة » .

ولكن كيف نفعل ذلك ؟ كيف يكون العقل الفرد قادراً على التجاوب ، في نموذجه السلسلي ، مع عقل آخر . الجواب يأتي عن طريق التمك ، تلك القناة النفسانية التي تربطنا كلنا معاً ككائن واحد . وماذا يحدث إذا وُجد ترابط زمني مع الترابط المكاني ؟ لنفترض مثلاً أن العقول الذرية الثلاثة شاهدت النموذج التالي :

الزمن ←

(العقل 1) ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑
(العقل 2) ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑
(العقل 3) ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑

المكان ↓

هنا أيضاً يصعب جداً على الرئيس أن لا يلحظ هذا التماثل . إن له حتماً مغزى مهماً ، إنه من نوع « الرؤية » عبر عدسة زجاجية ذرية مكبِّرة . ولا بد أن يشعر المرء بإدراك جديد . فهل هذا وعي ذو شمولية كونية ؟ هل هذا هو ما حدث في الماضي لبضعة أفراد ، من أمثال بوذا وعيسى وسواهما ؟ وهل هذا ما يحدث الآن لدى أناس كثيرين ؟ أعتقد أن الجواب هو نعم . إننا على عتبة عصر من الإدراك جديد ، عصر الوعي الكمومي ، عصر الذرة الواعية . فمن خلال التطلع في أنفسنا قد نجد القدرة على حل المسائل التي تواجهنا في التخوم النهائية ـــ تخوم الروح البشرية .

إرادة الله وإرادة البشر

ما زال أمامنا معضلات قديمة جداً . إنها مسألة تخص سلوك البشر وأفكارهم وإرادتهم . هل يستطيع ميكانيك الكم أن يلقي بعض الضوء على أسئلة مثل : هل أنا آلة فحسب ؟ كيف تفعل إرادتي ؟ ما هي إرادة الله ؟ هل يوجد إله ؟

إنني على يقين من أن معظم هذه الأسئلة ، عن العقل والمادة ، لم تجد قط أجوبة مقنعة . إنها ترتبط كلها بقدرة الإنسان على التحكم بمصيره وعلى تعيينه . إلى أي مدى بالضبط تمتد قدراتنا البشرية ؟ يبدو أن ميكانيك الكم يدل على حدود القدرة البشرية . إن هذه الحدود معزُوَّة إلى معرفتنا وقدرتنا على اكتساب المعرفة . إن التمك ، أي التابع الموجي الكمومي ، لا يمكن أن يُشاهَد . ومع ذلك نشعر أنه نموذج ملائم لتعيين احتمالات الأحداث . إن التمك ينداح بأسلوب مثالي الانتظام . لكنه عندما يناله الرصد يتحول اندياحه إلى بمَّة (فقعة) فوضوية . فيصبح الاحتمال فعلاً واقعاً . ويبدو أننا ، نحن البشر ، نملك شيئاً من السلطة على حيواتنا ونبدو مع ذلك أيضاً ضحايا عاجزين أمام قدرة أخرى ، في نظام آخر .

لقد عرضتُ في هذا الفصل معظم التكهنات الفكرية والنماذج والآراء بخصوص نوعية الترابط فيما بين ميكانيك الكم والله جل جلاله والفكر البشري والإرادة . إنني أرى ميكانيك الكم شيئاً ضرورياً جداً في تطور البشر وعلم النفس . أشعر أن النظام المضمر في التمك ، ميكانيك كم العالم الكوني ، هو إرادة الله النافذة ، رغم أن هذا النظام يبدو لنا عشوائياً ، وفي معظم الأحيان ، عديم المغزى . وقد رأينا في فصل سابق كيف يظهر مكعب المفارقة مجرداً من أي نظام خاص في مظهره . فأحياناً يبدو وجهه العلوي يمّ في المقدمة وأحيـاناً وجهـه السفلي . وعندما جعلنا لمكعبين تفاعلاً ماضياً بينهما رأينا أن الراصدين المختلفين اللذين يرصدان بعدئذ مكعبين منفصلين يكتشفان أن نظامي رصديهما متطابقان ، هذا مع أن كل راصد كان في الواقع قد رأى نموذجاً عشوائياً دون أي معنى .

إن هذا المثال يعطينا لمحة صغيرة عن وحدة العالم الكوني . إن إرادات الرصاد لا يمكن أن تتحكم بالمكعبات . ومع ذلك يجد الراصدان نظاماً في رصديهما . لكن هذا النظام لا يمكن أن يُستخدم في التخابر أو العمليات . إذ أن كل راصد كان حراً في اختيار ما يريد . ومع ذلك رأى كل منهما في نظام رصد الآخر نظـامه الشخصي . ربما كان هذا هو الشكـل الوحيد للتخـابر بين البشـر . إن كلاً منـا واحد فرد بمقدار ما نتوقف عن تأثير بعضنا في بعض . وكل منا عِدَّة بمقدار ما تنفذ إرادة الفرد .

لقد ذكرنا المكعبات كي نشبه بها الجسيمات ، كالإلكترونات والذرات . ولكن هل يمكن لهذا التشبيه أن يذهب إلى أبعد من ذلك ؟ هل بمقدور ميكانيك الكم أن يساعدنا على فهم حدود مقدرتنا ؟ إذا كان الجواب نعـم فقد يصبح العالم مكاناً للعيش أكثر أماناً ومتعة . وربما تتوقف الحروب إذا رأى الناس أن لا مجال لكسر مبدأ الارتياب . لكن لو أصبح الناس ، بسبب ميكانيك الكم ، على يقين من استحالة وجود إرادة أعظم سلطاناً من إرادة البشر لصار العالم شيئاً مختلفاً عما هو الآن ، بالنسبة لنا جميعاً .

إن ميكانيك الكم ، ربما أكثر من أية ديانة أخرى ، ينبئ عن وحدة العالم . إنه ينبئ أيضاً عن شيء وراء العالم المادي . ولا يهم كثيراً التفسيرُ الذي تختاره ــ عوالم متوازية ، مسارات فاينمان ، تمكات تنداح وتيمّ ، وعي خلاق . إن كل هذه التفاسير تشير إلى سر العالم المادي من تطلعات غير مادية .

نستطيع أن نقول إن الله يمارس إرادته في عالم التمكات ، وهو عالم سببي بكل الدقة الرياضية ، لكن ليس فيه مادة . إنه عالم مفارقات ، وبالنسبة للبشر خليط يصعب على ذكائهم المحدود إدراكه . لأنه عالم يحتل فيه الشيء مكاناً مفرداً في زمن مفرد ويحتل في الوقت نفسه عدداً من الأمكنة غير محدود . ومع ذلك يوجد للمفارقات نظام ظاهر . يوجد لهذه الأمكنة العديدة نموذج نسميه تناظراً .

لكننا ، نحن البشر الموجودين في عالم من المادة ، لا يسعنا إلا أن نُصدِّع كمال المفارقة عندما نحاول رصد النموذج . إننا ندفع ثمن العالم المادي باهظاً من حصافة عقلنا . إننا عاجزون عن صوغ نظام يستوعب كل أرصادنا .فهناك دوماً شيء مفقود ، إن تصديع النظام الرباني يتخذ في عيوننا شكل مبدأ الارتياب . ونحن بذلك عاجزون ونشعر باليأس والرغبة في النظام الذي نحاول خلقه في هذا العالم دون جدوى . وكل مانستطيع فعله هو أن نسايره .

ونحن ، من جهة أخرى ، أحرار في الاختيار . إن عجزنا التام عن خلق نظام محكم يتيح لنا أن نبتدع . فأنت تستطيع أن تقول إن مبدأ الارتياب سلاح ذو حدين . إنه يحررنا من قيود الماضي ، لأننا لا نستطيع تعيين الأمور سلفاً بدقة ، وهو يمنحنا حرية الاختيار في كيفية التعامل مع هذا العالم . لكننا عاجزون عن التنبؤ بنتيجة اختياراتنا . نستطيع أن نختار لكننا لا نستطيع أن نعلم إذا كانت اختياراتنا ستكون ناجحة .

إن البديل عن هذا العالم اللا موثوق عالم آخر ، عالم من شأن الجسيمات فيه أن تسلك مسارات معينة تماماً ذات مواضع دقيقة في كل لحظة . لكن هذا العالم البديل غير شغّال . إن من شأن الإلكترونات الصغيرة في كل ذرة منه أن تصدر إشعاعاً إلى أن تفقد كل طاقتها وتسقط سريعاً على النواة . إنه عالم لن يحوي ذرات ، وكل الطاقة الكهرطيسية فيه تتلاشى ، وكل المنظومات العصبية تتوقف عن النشاط ، فتتوقف الحياة . ذلك أن الحياة التي نعرفها تدين بوجودها لأفضال الارتياب ، وأمنُ اليقين خرافة .

ومع ذلك فإن الأمن موجود . إننا نشعر بوجوده . إن الرغبة في مثالية نظام عالمي هي ما نشعر به ، إننا نحس بذلك كرغبة في الالتجاء ثانية إلى الرَحم العالمي الأشمل . لكننا مع الأسف لا نستطيع أن نفعل ذلك بل نظل في سجن الجسد البشري . إن علينا أن نقنع بغموض مواقعنا . فبدون هذا الغموض لا يوجد عالم .

ربما نستطيع أن نتعلم كيف ننسجم فيما بيننا إذا استوعبنا كيف تستطيع الفيزياء الحديثة ، لا سيما ميكانيك الكم ، أن تجعلنا ندرك حدود الإرادة البشرية . وقد نتوصل إلى ما هو خير من هذا ، إلى إدراك أن إرثنا الكوني جزء من الإرادة العظمى . آمل ذلك .



الفصل الخامس عشر

أفكار جديدة في الفيزياء الكمومية

صديق فغنر : أنت تعرف ، يا أوجين ، أنني لا أظن شرودنغر هذا كان خبيراً عملياً جداً بشؤون القطط .

فغنر : لماذا ؟

صديق فغنر : هل لديك فكرة عن الرائحة التي تفوح هنا ؟

فغنر : تحقق أولاً أن المنبع المشع في مكانه ضمن الصندوق ثم ضع القطة فيه .

صديق فغنر : يبدو أن هناك علامة من نوع ما على المنبع المشع . إنها تقول : « عيِّنة حرة من الشركة الصناعية الذرية » . إن الأشياء الآتية من الشركة الصناعية الذرية ليست كما تبدو .

فغنر : لا يهم . ضع القطة هنا .

صديق فغنر : أوجين ، يبدو لي أنك تبخس حق النعومة الكامنة في تراكب وانضمام الحالات الكمومية المحسوسة .

فغنر : لماذا ؟

صديق فغنر : ليس من السهل أن نوضع ، أنا والقطة ، في حالة تركيبية واحدة . أُفّ !

فغنر : ماذا يجري ؟

صديق فغنر : أظن أنني كنت مصاباً بنوبات كزازية حين اشتركت في تجربة فلسفية .

A. S. Wightman

لقد حدثت ، بعد كتابة الطبعة الأولى لهذا الكتاب ، تطورات مثيرة وعديدة في الفيزياء الكمومية . وهدفي من إضافة هذا الفصل أن أتحرى وأشرح اثنتين من الأفكار أعتقد أنهما تستحقان الاهتمام أكثر من سواهما .

إن كل واحدة من هاتين الفكرتين تبدو أقرب إلى الخيال العلمي منها إلى الفيزياء المتينة . وعلى كل حال ، وبما أن الفيزياء الكمومية شيء عجب ، وهذا أمر أعتقد أنكم تصدقونه الآن ، فقد يتساءل بعضكم عما يمكن أن يضاف إلى هذه « الفيزياء الجديدة » .

تنبع الفكرة الأولى من تلاعب جديد بالتفسير المعروف باسمتفسير إيفيريت القائم على العوالم المتوازية . وإذا صح قول بعض الفيزيائيين يكون اكتشاف أحد العوالم الموازية قد أصبح قاب قوسين أو أدنى . ولئن كانت فكرة وجود عوالم تتاخم عالمنا جنباً إلى جنب تبدو برمتها ولأول وهلة من قبيل المزاح فإن تطوراً جديداً قد طرأ على هذه الفكرة ونقلها من مجال الخيال العلمي إلى مجال العلم الفعلي . لقد أتى هذا التطوير من عالم التقانة (التكنولوجيا) : عالم الحواسيب (الكمبيوترات) الحديثة . إذ يبدو أننا سيتاح لنا قريباً بفضل تصميم نوع مبتكر من الحواسيب ــ نوع يضع قوانين ميكانيك الكم تحت الأزرار التي يكبسها المرء بأنامله ــ أن نكتشف بالفعل عالماً موازياً .

لا بد أن يكون القارىء قد سمع أن صناعة الحواسيب مستمرة في تطوير حواسيب أصغر فأصغر تستخدم مزيداً من العناصر المعروفة باسم شيبات (*) chips (رقائق) . وقد أصبحت هذه الشيبات على درجة من الصغر يمكن معها أن نقول إننا أصبحنا على عتبة الحصول على أول شيبة جزيئية . وبما أن العمليات التي تحصل في هذه الشيبات تتم في مدى زمكاني صغير جداً فإن القوانين التي ستحكمها لا بد أن تستند إلى مبادىء الفيزياء الكمومية .

لكن هذا لا يعني أن شيبات الحواسيب العصرية لم تعمل قط بموجب هذه المبادئ . بلى ، إنها تفعل ذلك ! لكن مستوى العمليات الكمومية الجارية في الشيباتَ المكروية ما تزال تحت سيطرة مستخدِم الحاسوب . وطالما أبقينا هذا الأمر بيد المستخدم فإن شيبة الحاسوب ستظل مؤلفة من تراكيب بسيطة تعمل بطريقة « لا ــ نعم » ــ آلات فيزيائية تقليدية ــ وبمخزون الذاكرة . إن قوانين الفيزياء الكمومية تنطبق هنا أيضاً دون شك ، لكن مستخدم الحاسوب العصري لا يعرف ذلك . وماأعنيه في هذا الفصل ، بخصوص حواسيب المستقبل ، هو الاستعمال الفعلي للقوانين الكمومية ، وكل سمات مفارقاتها ، تحت أنامل المستخدِم . أي ، بتعبير آخر ، أن يتاح لمستخدم الحاسب الكمومي أن يُجري عمليات أصلية مصوغة

(*) صفائح رقيقة جداً مصنوعة من مادة لدنة طُبعت عليها خطوط ناقلة هي دارات كهربائية إلكترونية . (المترجم) .

بلغة الفيزياء الكمومية ومبادئها لا بلغة الجبر البولي Boolean المعتمد على مبدأ « لا ـــ نعم » البسيط .

أما الفكرة الثانية فهي تفسير جديد للفيزياء الكمومية نسميه **التفسير الرجعاني transactional interpretation** . في هذا التفسير يتصل المستقبل رجوعاً بالحاضر . إن هذه الفكرة ، التي لقيت استنكاراً وهجوماً في أوساط الفيزيائيين ، تحل مسألة التفسير بفرضية تقول بأن موجة الاحتمال الكمومية ترجع أدراجها من المستقبل عبر الزمن . أي أن المنظومة لا تتجلى للراصد فعلاً إلا إذا كانت الموجة الكمومية التي تمثلها تنتشر بالاتجاهين : من الحاضر إلى المستقبل ومن المستقبل إلى الحاضر عبر الزمن . فإذا كان متاحاً للموجة الكمومية أن تتمتع بهذه الميزة التي تبدو نابعة من الخيال العلمي ، يمكن عندئذ أن نفسر عدداً من المفارقات .

ورغم أن مخترع هذا التفسير لم يكن يعتقد أنه يمكن أن يقود إلى نتيجة تجريبية فقد يتبين أنه يخبئ مفاجأة . لكن الظاهر أن البرهان التجريبي عليه لن يأتي من مجال بارد وناء كالتقانة العصرية ، بل من مجال قريب دافىء وضبابي ، هو الفيزيولوجيا البشرية .

تدل بعض المعطيات التجريبية الحديثة على أن الإنسان يأتيه فعلاً إدراك حسي قبل نصف ثانية من أن يستطيع دماغه إخباره بأنه أصبح واعياً . وهذا ما قاد الفيزيولوجيين الذين أجروا القياسات إلى ما يسمونه فرضية « المؤجل والتأريخ المسبق delay – and – antedating » .

إن هذه الفرضية تتناول التأخر الزمني للانتاج الدماغي ـــ حصول النشاط المناسب اللازم لظهور الإحساس الواعي بما أُحسَّ به جسدياً من قبل ـــ مضافاً مع التأريخ المسبق ، أو التأريخ المبكِّر ، لذلك الحس لدى الشخص . ويبيِّن دماغ الشخص أن الكفاية العصبية لا تتم إلا بعد نصف ثانية من حدوث الحس . ومع ذلك يؤكد الشخص أنه كان قد وعى الإحساس في خلال بضعة أجزاء من ألف من الثانية بعد عملية التنبيه .فكيف يستطيع الشخص أن يكون واعياً للإحساس إذا كان دماغه لم يسجل ذلك « الوعي » ؟

قد يكون في الجواب شيء جديد مذهل : إن المستقبل يتصل بالحاضر فعلاً في الجملة العصبية البشرية . فإذا أمكن الحصول على مزيد من البراهين التجريبية سيكون ذلك أول برهان يأتي من البيولوجيا لدعم نظرية فيزيائية .

لقد نشأت تلكم الفكرتان بعد نشر الطبعة الأولى لكتاب مع القفزة الكمومية . وكان لا بد من وقت لصوغهما في سياقه . لقد كانتا غريبتين بلا ريب . لكنني حدث لي كما حدث لأحد قراء الطبعة الأولى الذي كتب لي يقول : « عندما قرأت كتابك أول مرة لم أستطع فهمه . لكنني قرأته مرة أخرى بعد سنة وبدا لي أنه مفهوم جيداً » . فقد يبدو هذا الفصل غريباً للوهلة الأولى ، لكن القراءة الثانية قد تلقي عليه بعض الضوء . وأنا أعتقد أن هذه الأفكار هي من أهم ما نشأ من ميكانيك الكم منذ كتبتُ طبعته الأولى .

الفكرة رقم 1 : أخذ صورة عن عالم مواز آخر من عوالم إيفيريت

إن الحوار الذي تخيلناه في مطلع هذا الفصل يدور بين الأستاذ فغنز وصديقه الافتراضي وينبئ عن مواجهة طريفة معروفة باسم مفارقة صديق فغنز . إنها تعبر عن مسألة اشتهرت في الفيزياء الكمومية باسم مسألة القياس ، وهي : ماذا يطرأ عندما يقيس الراصد خاصية من خصائص منظومة فيزيائية ؟ وعلى فرض أن كل جسم في هذا الكون ــ الناس والقطط والآلات بأنواعها والأدمغة والعقول والطائرات والجبال ، الخ ــ يطيع قوانين الفيزياء الكمومية ، كيف يمكن أن يرصد بالفعل أي شيء ؟

قد تستطيع الآن أن تدرك أنها مسـألة صعبة لأن القوانين الكمومية تسمح ، بل تتطلب ، من المنظومة الفيزيائية ، أياً كانت ، أن توجد ضمن حالات كمومية متراكبة معاً(مضمومة) ، فالإلكترون في الذرة ، مثلاً ، يمكنه أن يحتل عدداً لا نهائياً من المواضع في وقت واحد ، وكل موضع من هذه المواضع حالة من حالات الإلكترون . ولكي تمتلك الذرة حالة ذات طاقة واحدة مستقرة يجب على الإلكترون أن يوجد في تراكب من حالات الموضع . إن هذا التراكب يتخذ شكل غمامة تسمى **الغمامة الموجية الإلكترونية** . وبدون هذه الغمامة لا يمكن للذرة أن تكون مستقرة بل معرضة للتفكك تلقائياً .

إن هذا التفكك يحدث إذا عمد أحدنا إلى إلقاء نظرة على الإلكترون . عندئذ تتقلص الغمامة فجأة إلى موضع واحد في نقطة مفردة من الزمكان وتنقطع الرابطة بين الإلكترون والذرة . أما إذا لم يتعرض الإلكترون لعملية قياس موضعه في الذرة ورُصدت طاقة الذرة فإن الغمامة تظل موجودة وتظل الذرة في حالة طاقيـة مستقرة . إن هذا التناوب بين أرصـاد ممكنة معروف باسـم **مبدأ التتامية** وقد كان مشكلة للفيزيائيين منذ اختراع ميكانيك الكم . كانت المسألة هي : بما أن الفيزياء الكمومية تتطلب أن يكون الإلكـترون غمـامة ، فأين يكون محله عندما يحتل مكاناً في الذرة ؟ بما أن الجسـيم الأصغر من الذرة ، كالإلكترون ، مفترض نقطياً فإنه لا يستطيع أن يحتل حجم الذرة كله ، بل المحل الذي يستطيع ملأه . وإذا كان نقطة ، أين يوجد كنقطة ؟ ثم كيف يمكن لحادث لطيف ، كمشاهدة الإلكترون ، أن يجعله يظهر فجأة على شكل نقطة ؟

إن الجواب ، كما ذكرت من قبل ، هو أن الإلكترون موجود كجسيم نقطي في كل واحد من العوالم العديدة المتوازية المتراكمة . إن تراكم كل هذه الإلكترونات ، كلاً في عالم مواز ، هو الذي يظهر بمظهر غمامة إلكترونية مفردة . كان هيو إيفيريت أول من اقترح هذا التفسـير للفيزياء الكمومية وسمي باسم **التفسير المتعدد العوالم** .

إن مثال صديق فغنز ومثال قطة شرودنغر لا يشذان عن هذا التفسير . وربما تتذكر أن القطة ، بعد أن أمضت بعض الوقت في صندوق يحوي جهازاً قد لا يطلق غاز السيانيد ، يجب أن توجد في مضمومة حالتـين ــ قطة حية وقطة ميتة . وفي مفارقة صديق فغنز يكون الصديق ، الذي يرصد منظومة مادية كالقطة ، في مضمومة حالتين ذهنيتين : في إحداهما يرى الصديق القطة ويعرف أنها حية ، وفي الثانية يرى القطة ويعلم أنها ميتة . عندئذ يأتي الأستاذ فغنز ويحسم بين الحالتين وذلك برصد الصديق والقطة ورؤيتهما

في هذه الحالة أو في تلك .

لقد أضاف الفيزيائي ديفيد ألبرت D.Albert ، في لقاء نيويورك الذي حضرتُه عام ١٩٨٦ ، « خطوة جديدة » إلى هذه المفارقة المنضمة . كانت الحكاية القديمة تنتهي إلى نهاية يكون فيها الصديق والقطة في مضمومة حالتين متنافيتين من المصير والمعرفة بهاتين الحالتين . لكن ألبرت أعطى نهاية جديدة لنسخة قديمة .

لقد افترض ، بادىء ذي بدء ، أن قوانين الفيزياء الكمومية مطاعة في كل شيء وأنها إذا قالت إن المنظومة التي تحوي الصديق وحالته الذهنية موجودة كمضمومة حالتين فإن ذلك صحيح . ولا توجد مشكلة إذا لم يعرف الصديق حالته الذهنية الشخصية ، طالما كان موجوداً في عالمين متوازيين . فهو (والقطة) في كل واحد من العالمين موجودان في حالة ذهنية وجسدية واحدة .

هب أن الصديق في العالم 1 يرى أن القطة حية ويعتقد أن ما رآه قطة حية . إن الصديق في العالم 2 يرى أن القطة ميته ويعتقد أن مارآه قطة ميتة . الواقع أنه يستخدم أداة قياس (سماعة لضربات القلب مثلاً أو أي جهاز آخر يختبر الحياة) لاستنباط نتيجة القياس وتسجيلها .

وفي نهاية هذه القصة (عند النهاية العادية للمفارقتين السالفتين) يكون الصديق والقطة وأداة القياس مترابطة معاً بشكل منطقي . ومع ذلك يوجد عالمان ممكنان يمكنهم سكناهما ــ عالم الموت وعالم الحياة . وفي كل واحد منهما نُشرت قصة منطقية ، قصة ينسجم فيها الاعتقاد والحقيقة .

إن وجه الغرابة في هذه القصة هو أن مضمومة العالمين معاً موجودة أيضاً (إضافة إلى كل من العالمين) . وهذه المضمومة التي تحوي قطتين وصديقين وسماعتين ، مهما بدت للمرء خليطاً عجيباً ، هي بحد ذاتها حالة واحدة وقابلة للرصد على هذا الأساس من قِبل الأستاذ الذي يتدخل في القصة بعد قليل . وفيما يخص الأستاذ وحده تكون هذه الحالة عادية تماماً ويمكن قياسها . ولئن كنت لا أستطيع أن أتصور ما يمكن أن تعني هذه الحالة في هذا المثال التوضيحي إلا أننا نستطيع أن نتصور أنه توجد أداة قياس مناسبة ، آلة تصوير من نوع جديد مثلاً ، ترقب مجموعة القطة والصديق والسماعة وأن الأستاذ يمتلك آلة من هذا القبيل . عندئذ تقوم آلة التصوير بعملها وتحصل على صورة لوضع القطة والصديق والسماعة .

هنا الأستاذ وحده يسكن عالماً مفرداً ــ العالم الذي تُعبِّر عنه آلة تصويره . ورغم أن آلة التصوير تقيس مضمومة من حالتي « القطة ــ الصديق ــ السماعة » فإنهما ، هي والأستاذ ، ليسا في أية مضمومة حالتين ، والواقع بموجب القوانين الكمومية ، أن طالباً مجازاً جامعياً يمكن أن يتدخل ويصور الأستاذ الذي يرصد القطة ــ الصديق ــ السماعة بآلته . عندئذ يكون من شأن الطالب أن يقول إن المنظومة المؤلفة من الأستاذ والآلة والقطة ــ الصديق ــ السماعة موجودة في حالة ، هي الأخرى . ويمكن أن نكرر المحاكمة إلى ما شاء الله بإدخال طالب ثان ثم ثالث .. وهكذا حتى الكلل والملل .

والآن ، وبما أن الصورة الفوتغرافية تحوي مضمومة حالتين (حياة وموت) للقطة ــ الصديق ــ

السماعة ، نستطيع أن نقول إن الأستاذ ، في عالمه الفرد ، يملك صورة لمضمومة العالمين ، 1 و2 ، اللذين يحتلهما الصديق وقطته . إن هذه الصورة هي معروض مضاعف يُري الصديق معلقاً سماعته بأذنيه وهو في حالة إصغاء لما يمكن أن يصدر عن القطة . وعلى وجه الصديق سمتان متراكبتان ـــ سرور وحزن . وإذا أمعنت النظر بعناية في الصورة تستطيع أن ترى عيني القطة مفتوحتين ومغلقتين في معروض مضاعف أيضاً .

ليس في هذه الأمور شيء جديد على صعيد قصة العوالم المتوازية . إن القطة ـــ الصديق ـــ السماعة هو ، بعد كل شيء ، منظومة فيزيائية خاضعة إذن إلى نفس القوانين التي تخضع لها أية منظومة فيزيائية أخرى ، بما في ذلك قانون انضمام الحالات الكمومي . ومن هذه الزاوية لا يختلف القطة ـــ الصديق ـــ السماعة عن الذرة التي ذكرتها أعلاه . وعند هذه النقطة بالذات يزخرف ألبرت القصة بخطوة جديدة .

هب أن الأستاذ أطلع الصديق على الصورة . أي ، بتعبير آخر ، أن الصديق يكتسب مدخلاً إلى آلة التصوير . تذكر أن الصورة معروض مضاعف يُري الصديق في عالمين رغم أن الصديق ، بحسب معلوماته ، يقطن عالماً واحداً يحوي القطة في إحدى حالتيها ، حية أو ميته . بهذه الطريقة يستطيع الصديق أن يرى نفسه موجوداً في عالم مواز . إن هذه الحالة الغريبة جداً في ميزان الأمور خطوة جديدة ، لكنها مع ذلك من الأشياء المباحة في الملعب الذي اسمه ميكانيك الكم . إن الصديق في العالم 1 ، مثلاً ، سوف يرى نفسه ونفسه الثانية البديلة معاً في العالم 2 وفي صورة فوتغرافية واحدة . ويقال الشيء نفسه عن الصديق في العالم 2 . أي ، بتعبير آخر ، أن الصديق سوف يأخذ علماً بوجود العالم الموازي الآخر .

إن هذه الخطوة ، على ما فيها من غرابة ، مقبولة تماماً على صعيد تفسير إيفيريت لميكانيك الكم . وهي ، من باب أنها امتلاك المرء لصورة نفسه مسجلةً في عالم آخر ، فكرة جديدة غريبة ، وما يزال معظم الفيزيائيين يحاولون تصور معنى ممكن لها .

لكن فيزيائياً واحداً اكتشف كيف يمكن فعلياً تنفيذ هذه الفكرة بالتجربة . فقد استخدم ديفيد دوتش Deutsch ، وهذا هو اسمه ، في جامعة أكسفورد هذه الخطوة لتصميم حاسوب كمومي قادر على حل تشكيلة من المسائل ببضع خطوات حسابية أقل مما يلزم في حاسوب تقليدي . تعتمد الفكرة على تجزئة المسألة إلى سلاسل من الأجزاء المنفصلة فيما بينها وعلى تكليف حاسوب كمومي بتنفيذ حسابات هذه الأجزاء في وقت واحد معاً ، بالتساير إذا صح القول ، أي في عوالم مستقلة متوازية .

إن الحالة الفيزيائية للآلة في أي وقت تتألف من انضمام هذه الحسابات المنفصلة في منطقة واحدة من الذاكرة ، والمطلوب عادة لتنفيذ الحسابات ذاكرتان في مكانين منفصلين . لكن الأمر ليس كذلك في شأن حواسيب العوالم المتوازية . بل إن الحاسوب الكمومي يتطلع ، بعد أن ينجز الحسابات ، إلى أحد العوالم الموازية ويحصل على صورة لنفسه . ولكن لدى استخراج هذه الصورة يكون من الممكن أيضاً الحصول على نتيجة غير مرغوبة .

استخدام حاسوب كمومي للتنبؤ برواج السوق

لقد تصور دوتش استخداماً عملياً جداً لآلته : التنبؤ برواج السوق . إفترض أن برنامج توظيف مالي ذا قسمين قد كُتب لحاسوب عادي تقليدي كي يقدِّر حركات التبادل بالاستناد إلى حركات اليوم . هب أيضاً أن بالإمكان حساب خطة توظيف بالاعتماد على النتائج المستقاة من البرنامج ، وأن هناك ضرورة ليوم واحد من شغل الحاسوب لكل قسم من البرنامج . وبما أننا أمام قسمين من البرنامج لا بد من حساب القسمين كليهما . ولما كان كل قسم يستغرق يوماً كاملاً لحساب الخطة ، فإن الحاسوب يحتاج إلى يومين كاملين ليستطيع إجراء نبوءته . وهذا يجعل الحاسوب التقليدي عديم الفائدة لأنه يفوِّت بهذين اليومين فرصة التنبؤ بخطة التوظيف ليوم واحد . فلا يمكن التنبؤ برواج اليوم مما حدث في السوق أمس .

لكن الحاسوب الكمومي يعمل بشكل مختلف تماماً . إنه ينفِّذ قسمي الحساب معاً في موضع واحد من الذاكرة موجود في عوالم متوازية في اليوم نفسه . وبذلك يُنجز البرنامج في الوقت المناسب من أجل اليوم التالي . لكن هناك محذوراً . فبالرغم من إنجاز قسمي البرنامج معاً في اليوم الواحد يكونان موجودين في عالمين متوازيين . وكل ما نستطيع فعله هو دخول أحد العالمين ، كما في مثال ألبرت السابق . فبسبب أن الجواب موجود كمضمومة ، هناك احتمال أن لا يكون الحساب واقعياً .

النتيجة هي أنك قد لا يمكنك دخول عالم تكون الخطة المحسوبة ناجحة فيه . ولتبسيط ذلك هب ، في حال أن الخطة قد حُسبت بشكل صحيح ، أن عنصراً من الذاكرة يُظهر القيمة **صفر** ، في حين أنه كان سيُظهر القيمة **واحد** لو كان حساب الخطة غير ناجح . افترض أن الخطة ، في اي عالم دخلت ، كانت ناجحة في 50٪ من الزمن وغير ناجحة في الـ50٪ الأخرى . إن الحاسوب الكمومي يحسب جواباً كل يوم ، لكننا لسنا متأكدين من الحصول على الخطة الناجحة في أي يوم من الأيام . فلا نستطيع أن نكون على يقين من أن عنصر الذاكرة المكتشف في ذلك اليوم سيكون **صفراً لا واحداً** .

وبهذه الصورة يوجد محذور . إن الحاسوب الكمومي ينجز البرنامج في الوقت المناسب لليوم التالي باحتمال صحة قيمته 50٪ . أما الحاسوب التقليدي فينجز البرنامج باحتمال صحة قيمته 100٪ ولكن بعد فوات الأوان بيوم . إن الحاسوب التقليدي دقيق على الدوام لكن أوان استثمار الجواب يكون قد فات .

أما الحاسوب الكمومي فناجح في حساب الخطة يوماً من أصل يومين وسطياً (عندما يُظهر عنصر الذاكرة **صفراً**) ، وفي ذلك اليوم يمكن التوظيف بنجاح . وعندما لا ينجح الحاسوب الكمومي في حساب الجواب (عندما يُظهر عنصر الذاكرة **واحداً**) لا يوظف شيء في ذلك اليوم . وعلى هذا يتاح للمستثمر فرصة خاصة لربح الرهان في الاستثمار عندما ، وفقط عندما ، يحصل حساب ناجح للخطة .

يعتقد دوتش أن الحواسيب الكمومية سوف تصبح ممكنة في المستقبل القريب ، وأنها سوف تستخدم كموم تدفق مغنطيسي كوحدات أساسية بدلاً من عناصر المنطق البولي القائم المعتمد على نعم — لا . زد على ذلك أن الأستاذ دوتش يعتقد أن نموذج إيفيريت في العوالم المتوازية ليس مجرد اختيار تفسيري

بل حقيقة ملموسة . وقد بين ، كما ذكرتُ في أحد كتبي الأخرى ، أن صنع حاسوب ذكي لا يمكن أن يحصل قبل انجاز مفعولات تداخل كمومية بالشكل الذي تتنبأ به نظرية العوالم المتوازية .

وينهي دوتش كلامه في نشرته بالملاحظة المثيرة التالية :

> لقد اعتمدتُ في شرح عمل الحواسيب الكمومية ، حيث اقتضت الحاجة ، على وجهة نظر إيفيريت في نظرية الوجود ontology . ويمكن بالطبع « ترجمة » هذه الشروح دوماً إلى التفسير المعتمد ، لكن ليس بدون فقدان كلي لمقدرتها التفسيرية . هب ، مثلاً ، أن حاسوباً كمومياً قد بُرمج على طريقة مسألة الرواج في السوق المشروحة أعلاه . تأتي كل يوم معطيات مختلفة . إن تفسير إيفيريت يشرح بشكل جيد كيف يتصرف الحاسوب في الذهاب من مهماته الكامنة إلى نسخ من ذاته في عوالم أخرى . وعندما سينجح الحاسوب في إنجاز حسابات اليومين كيف يمكن للتفسيرات الاصطلاحية أن تشرح حضور الجواب الصحيح ؟ أين حُسب ؟

الفكرة رقم 2 : المستقبل يؤثر في الحاضر

فعلاً ، أين حُسب الجواب ؟ تذكر أن الحاسوب ، حاسوب العوالم المتوازية ، وذاكرته وبرنامجه تعمل في عالمين في وقت واحد : نستطيع إذن أن نطرح أيضاً السؤال الآخر : متى حُسب ؟ إذ يظهر أن آلة دوتش تنجز شيئاً من قبيل المستحيل ، أي اكتساب خطة ناجحة في يوم واحد لما يستلزم يومين من الحسابات . فهل الحاسوب الكمومي قادر على التوغل في المستقبل ليكتسب الجواب ؟ إن دوتش لم يشبع هذا الموضوع بحثاً ، لكن الفيزيائي كريمر J.G.Cramer ، من جامعة واشنطن ، جعلنا نواجه هذه الإمكانية .

لقد طرح كريمر ، في نشرتين ، تفسيراً آخر للفيزياء الكمومية . يرى كريمر أن تفسير كوبنهاغن المعهود يشكو من خطأ خطير لأنه يفشل في معالجة موضوع تقلص الموجة الكمومية بفعل الرصد . فقبل إجراء أي قياس على المنظومة الفيزيائية كانت المنظومة تُعدّ موجودة في حالة كمومية تتمثل بصيغة رياضية اسمها تابع الموجة الكمومي ، أي ما كنا اختصرناه هنا بكلمة تمك .وعندما يحدث الرصد يقال عن التمك إنه تقلص من « موجة الاحتمالات كلها » إلى واقع مؤكد مفرد . وهذا ليس صحيحاً فحسب ، بل إن حساب احتمال حدوث هذا التقلص ــ احتمال الحادث المشارك لهذا التقلص ــ يقتضي ضرب الموجة بموجة مرتبطة بها رياضياً تسمى **المزاوج العقدي** complex__conjugate أي ، بتعبير آخر ، أن الموجة ومُزاوجها (ما يسميه الرياضيون أعداداً عقدية) يجب أن تشكلا حاصل ضرب كي يستطاع تعيين الاحتمال الفعلي لوقوع الحادث .

إن ضرب كائنين رياضيين للحصول على كائن واحد عملية شائعة في العلوم . ففي الميكانيك التقليدي ، مثلاً ، يُحصل على القوة المؤثرة في جسم من ضرب كتلته بتسارعه الناجم عن هذه القوة . وهذا الضرب نابع من قانون نيوتن الثاني . لكن لا يوجد ، في أي من تفاسير ميكانيك الكم السالفة بما فيها تفسير كوبنهاغن ، أي قانون يشرح ما يحدث فيزيائياً عندما تنضرب الموجة الكمومية بمزاوجها

العقدي . إن الموجة المزواجة لم تُعطَ حتى الآن أي معنى فيزيائي .

لقد لاحظ كريمر أننا إذا قبلنا بأن الموجة الكمومية موجة فيزيائية حقيقية ــ من الأمواج التي توجد وتنتشر في المكان وفي الزمان ، يتبين أن الموجة المزاوجة ليست سراً خفياً شريطة أن نوافق على اقتباس فكرة من الخيال العلمي لتفسيرها . إن الموجة المزاوجة هي الأخرى موجة فيزيائية لكن مع انعكاس زمني .

بما أن الموجة الكمومية تتحرك من مكان لآخر ، فإنها تستغرق زمناً في هذه الحركة . فنحن مثلاً نتصور الموجة منطلقة من مكان ما ومتباعدة عنه عبر الفضاء كما تتحرك الموجة على سطح ماء أُلقيت فيه حصاة . نتصور الموجة على شكل دائرة تتوسع تدريجياً بمرور الزمن .

في هذا المثال نتصور الموجة المزاوجة كما لو كانت قد نشأت عند حدود البركة . إنها تبدو شبيهة بالموجة الأصلية باستثناء شيء مهم واحد هو أن الموجة المزاوجة ترجع القهقرى في الزمن . إنها تغادر حافة البركة بالضبط عندما تصل الموجة الأصلية إليها وتظهر ، على شاكلة ما نرى في فلم سينمائي يُعرض بالمقلوب ، بشكل دوائر تتصاغر مساحتها إلى أن تتقلص نهائياً في المنبع ــ عند النقطة التي سقطت فيها الحصاة منذ قليل .

إن الموجة المزاوجة في أثناء رجوعها القهقرى عبر الزمن تتحرك في الفضاء نفسه الذي كانت تتحرك فيه الموجة الأصلية ، لكن في الاتجاه المعاكس . إنها بذلك تتفاعل مع الموجة الأصلية . وعندما تتفاعل موجتان بهذه الطريقة يجب ضرب شكليهما الموجيين أحدهما بالآخر . فمن منظور زمني عادي تتصرف الموجة المزاوجة تصرفاً يعرفه كل المهندسين الإلكترونيين : إنها تعدِّل الموجة الأصلية أو ، كما يقال عادة ، **تنمِّطها** modulate .

الواقع أن أخبار المساء التي تسمعها أو تنتظرها تكون غير ممكنة بدون عملية تنميط موجي راديوية أو تلفزيونية . إن الموجة الأصلية ، أو الموجة **الحاملة** carrier (كما يسميها المهندسون) المصنوعة في محطة البث ، تحمل أخبار المساء بشكل تنميط ــ تعديل في شدة الموجة أو في تواترها ــ للموجة الحاملة التي تولِّف جهازَك المستقبِلَ عليها . وعلى غرار ذلك تنمط الموجةُ المزاوجة الموجةَ الأصلية وهذا يعني رياضياً مجرد ضرب الأصلية بمزاوجها .

وبهذه الطريقة ، أي عبر هذا العرض الجديد الذي سماه التفسير الرجعاني ، يشرح كريمر لماذا تُحصى الاحتمالات بالشكل المعهود ، بضرب الموجة الأصلية بموجتها المزاوجة العقدية . فلكي يكتسب الشيء ، أياً كان ، معنى فيزيائياً يجب أن تكون الموجتان حاضرتين معاً تنمط إحداهما الأخرى . وهنا أيضاً يكمن تفسير تقلص تابع الموجة ــ إن التقلص يحدث عندما تنتشر الموجة المزاوجة الناشئة في مستقبل الزمن راجعة القهقرى نحو الحاضر إلى منبع الموجة الكمومية نفسها .

يسمي كريمر الموجة الأصلية باسم الموجة **المطلوقة** Offer Wave ويسمى الموجة المزاوجة باسم الموجة **الصدى** echowave . وحدوث الرجعان يتطلب مطلوقة وصدى ــ على غرار ما يحدث بين حاسوب وأحد أدواته المحيطية ، كالطابعة أو حاسوب آخر عبر خط هاتفي . تُصنع موجة مطلوقة ، فيتلقاها المستلم

ويؤكدها بإرسال صدى المطلوقة راجعاً إلى الطالق يخبره باستلام الرسالة . ويتكرر التبادل دورياً إلى أن يحقق التبادل الطاقي الصافي ، والمقادير الفيزيائية الأخرى التي ستظهر ، بعض المتطلبات . وقد تنطوي هذه المتطلبات على قوانين الانحفاظ الفيزيائية وعلى أية قيود أخرى ، مفروضة على الموجة الكمومية ، تعرف باسم الشروط الحدودية . عندما يؤخذ ذلك كله في الحسبان تتم صفقة الرجعان ، والأمور بخواتيمها .

مثال : اختيار ويلر

لكي نرى كيف يمكن لهذا التفسير أن يعمل في مثال ما ، دعونا نفحص المفارقة التي كان الفيزيائي جون ويلر J.Wheeler أول من عرضها . يريد ويلر منا أن نتأمل في تجربة بسيطة تتألف من منبع ضوئي ولوح حاجز فيه شقان ، تشبه التجربة المعروفة باسم تجربة الشق المضاعف . والفرق الوحيد هنا هو أننا نستخدم ، بدلاً من الفلم التصويري الدائم الموضوع بعد الشقين ، شاشة تصويرية مثبتة بمحور يمكن تدويره وإعطاؤه وضعاً علوياً يجعل الشاشة تستقبل الفوتون أو وضعاً سفلياً يجعل الفوتون يتابع طريقه دون عائق .

نفترض أن المسافة بين اللوح ذي الشقين والشاشة (الفلم) التصويرية طويلة جداً بما يعطي المجرب وقتاً كافياً لتدوير الشاشة إلى الوضع الذي يريده بعد أن يعبر الفوتون الشق المضاعف .

في وضع الشاشة السفلي يستأنف الفوتون طريقه إلى أن يبلغ أحد مرقابين telescopes . وكل مرقاب مصوب مباشرة على خط الضوء نحو شق معين من الشقين . فإذا ضرب الفوتون المرقاب 1 نتوقع أن يكون قد عبر من الشق 1 ، وينطبق القول نفسه على المرقاب 2 .

الواقع أن الشقين قد يكونان على القمر وقد يكون المرقابان والشاشة على الأرض مما يجعل زمن سفرة الفوتون طويلاً ، أي قرابة 1,75 ثانية . ويمكن للقارىء أن يتصور مسافة بين الشقين وبقية الأدوات طويلة كما يهوى .

إن المجرب ، إذا قرر في اللحظة الأخيرة أن يحذف الشاشة من طريق الفوتون أو أن يضعها فيه ، يكون في مأزق . هب أنه وضعها فيه ، عندئذ يجب على الفوتون ، بمقتضى ميكانيك الكم ، أن يعبر الشقين معاً ليسجل تداخلاً على الشاشة ـــ الفلم ، أي ، بكلمات أخرى ، أن الشاشة تعمل كأداة لتعيين الخصائص الموجية للفوتون .

ومن جهة أخرى ، إذا قرر المجرب أن يحذف الشاشة فإن الفوتون يصل إلى أحد المرقابين أو إلى الآخر دالاً على أنه عبر هذا الشق أو ذاك . عندئذ ، في حال حذف الشاشة ، يقيس المرقابان خاصية الفوتون الجسيمية . والخلاصة هي : عندما توضع الشاشة يمر الفوتون كموجة عبر الشقين معاً ، وعندما تُحذف الشاشة يمر الفوتون كجسيم عبر أحد الشقين .

ليس هذا الشيء بجديد على من اطلع من قبل على مفارقة الشق المضاعف . لكنه ما زال سراً خفياً . والجديد هنا هو أن الشاشة قد وُضعت بعد فترة من مغادرة الفوتون لوح الشقين ! أي أن المجرب يؤجل

الاختيار إلى اللحظة الأخيرة . ومن شأن هذا الاختيار المؤجل أن يتحكم بالمسار الذي سلكه الفوتون **بعد** أن يكون قد سلكه . إن هذا المفعول ، بمعنى ما ، قد حصل قبل السبب . إن السبب ــ وهو اختيار المجرب في اللحظة الحاضرة ــ يتحكم بالمفعول وهو المسار الذي اتخذه الفوتون في الماضي .

لا توجد طريقة لفهم ذلك باستخدام أي من التفاسير القديمة . لكن المفارقة تزول إذا قبلنا التفسير الرجعاني . إن موجة الفوتون الكمومية المطلوقة تغادر المنبع وتخترق الشقين معاً نحو بقية الأجهزة.فإذا كانت الشاشة موضوعة يُمتص الفوتون ويرسل الفلم نحو الماضي موجة صدى مُزاوِجة تمر أيضاً عبر الشقين معاً ويستلمها المنبع الضوئي .

أي أن الموجتين ، المطلوقة والصدى ، تمران عبر الشقين معاً وتتم الصفقة . أما إذا حذفت الشاشة فإن الموجة المطلوقة تمر أيضاً عبر الشقين معاً نحو المرقابين ؛ لكن واحداً منهما فقط يرسل نحو الماضي الموجة الصدى عبر الشق المقابل . إن موجة واحدة فقط ترتد بسبب الشرط الحدودي الذي يفرض على الموجة أن تمثل فوتوناً مفرداً . ولو أرسل المرقابان نحو الماضي موجتي صدى لدل ذلك على وجود فوتونين .

عودة إلى المستقبل : إدراك قبل الإدراك

إذا أخذنا تفسير كريمر بعين الجد نحصل على صورة جديدة للزمن في الحوادث الكمومية . فكل عملية رصد ، في هذه الصورة ، تكون انطلاق موجة منتشرة نحو المستقبل باحثة عن حادث استلام ، وهي نفسها وفي الوقت نفسه ، مستلِم موجة تنتشر نحو عملية الرصد قادمة من حادث رصد ماض . أي أن عملية الرصد ترسل موجتين معاً ، تذهب إحداهما نحو المستقبل وتذهب الأخرى نحو الماضي . يقال عندئذ عن الحادثين اللذين يتبعان التسلسل الزمني العادي إنهما مترابطان بشكل محسوس أو متشاركان معنوياً ، شرط أن يحتفظ التفاعل بينهما بالثوابت الفيزيائية المعتبرة وأن يحترم شروط الحدود الضرورية .

إن كريمر يلح على أن الصورة الرجعانية مجرد تفسير ، وهو ، على هذا الأساس ، لا يتوقع من أي برهان تجريبي جديد يدعمها ، دون سائر التفاسير الأخرى ، أن يكون وشيك الظهور . إنه يرى فيها طريقة للفهم ولتطوير الحدس بهدف تعليم الفيزياء الكمومية للطلاب . إنها تساعد أيضاً في تعليل كل المفارقات التي يصعب تعليلها بالاعتياد على أن الزمن لا يجري إلا باتجاه واحد ، من الماضي إلى المستقبل .

لكن هناك برهاناً فيزيولوجياً ذكرته من قبل ، وعملاً قام به بنجامان ليبيت Libet وزملاؤه في المعهد الطبي بجامعة كاليفورنيا ، وفرضية كنت قد اقترحتها ، يمكن أن تدل كلها على أن كريمر مخطىء . أما البرهان الفيزيولوجي فيدل على وجود تأخر زمني في عمل الدماغ . أي أنك إذا وقفت على صخرة فإن دماغك لن ينبئ عن أي نشاط مناسب يجعلك تعرف ذلك قبل مضي نصف ثانية برمته . ولا عجب في ذلك . لكن هذا التأخر ينضم مع تأريخ مسبق داخلي لتلك المعاناة . إنك سوف تعاني أو تعتقد أنك تعاني المنبه الحسي ــ الصخرة ــ قبل زمن طويل من أن يسجل دماغك أي برهان على هذه المعاناة .

أما في التجارب التي أجراها ليبيت وزملاؤه فقد أظهر دماغ الشخص المدروس أن التلاؤم العصبوني neuronal adequacy (حصول ما يكفي من الاشتعال العصبي للدلالة على أن الدماغ قد أصبح واعياً للمنبه) لم يبلغ مداه قبل مرور 500 ميلي ثانية (نصف ثانية) على حصول الإحساس . ومع ذلك أكد الشخص أنه قد انتبه للإحساس في غضون 10 ميلي ثانية بعد التنبيه . وعلى هذا يكون الشخص قد أصبح منتبهاً قبل أن ينتبه دماغه . وقد علل ليبيت وزملاؤه نتائجهم التجريبية بما سموه فرضية « التأجيل والتأريخ المسبق » . وقد اعتقدوا أن الإدراك الداخلي للمعاناة والاكتمال الفعلي للتلاؤم العصبوني ليسا حادثاً واحداً ، لكنهم لم يقدموا أي سبب لهذا الاختلاف .

وقد اقترحتُ في نشرة حديثة انفصالاً فيزيائياً كمومياً ضمن فرضية « التأجيل والتأريخ المسبق » . اقترحتُ خطوة أولى نحو تطوير نظرية فيزيائية كمومية في التأجيل المسبق تعتمد على التفسير الرجعاني لميكانيك الكم . وتبعاً لهذا الاقتراح يؤلف الحادث المستقبلي ــ اكتمال التلاؤم العصبوني ــ والحادث الحاضر ــ حفز المنطقة السطحية من جسم الشخص ــ تسوية رجعانية وسطاً : موجة احتمال كمومية (المطلوقة) تصدر عن الحادث الحاضر (الحفز) فتذهب نحو الحادث المستقبلي (التلاؤم العصبوني في الدماغ) الذي يُحفَز عندئذ على أن يردَّ الموجة الصدى عبر الزمن نحو الحادث الحاضر .

إن فكرتي تعني أن الحادثين المترابطين بهذا الشكل يُستشعران حادثاً واحداً بحد ذاته . إن أي حادثين مترابطين فيزيائياً وكمومياً ترابط المطلوقة بالصدى ومنفصلين زمانياً أو مكانياً ، سيشكلان معاناة واحدة ــ حادثاً في الوعي . فمتى ترابط حادثان ــ فعل فيزيائي وشعور بهذا الفعل ــ بهذا الشكل من الترابط ، فإنهما سيشكلان في المعاناة حادثاً واحداً . إن ما عنيته بهذا الاقتراح ، عموماً ، هو أن أي حادثين كموميين فيزيائيين مفصولين زمنياً أو مكانياً سيشكلان معاناة واحدة لا غير . أي ، بتعبير آخر وبمعنى ما ، لا بد من حادثين لكي يعي المرء حادثاً واحداً ، وهما : الفعل الآتي من العالم الخارجي وإدراك هذا الفعل في العالم الداخلي . وبدون أي منهما لا يمكن للآخر أن يحدث . وإذا صح هذا القول فإن الوعي لا يحدث إلا إذا وُجد ترابط كمومي فيما بين حادثين أو أكثر . أي أن الحادث الحسَّ لن يكون ، بدون الترابط العصبوني ، حادث وعي .

إن هذا الاقتراح يلقي أيضاً الضوء على ما يعرف باسم السند الشخصي في المكان subjective referral in space وعلى ما يعرف باسم السند الشخصي في الزمان subjective referral in time . إن السند الشخصي في الزمان هو الزمن الذي يعتقد عنده الشخص أن المعاناة قد حصلت . أما السند الشخصي في المكان فهو الموضع الذي يعتقد الشخص أن المعاناة قد حصلت فيه . وبعد الإحساس السطحي المحيطي يرتد التلاؤم العصبوني إلى المنطقة المحيطية ، رغم أنه لا يحدث شعور في زمن حفز لحاء العصب على الاشتعال . وبالأسلوب نفسه يرى ليبيت أن الخبرة الرؤيوية ترتد نحو العالم الخارجي وليست معزوة إلى نسيج شبكية العين . وعلى هذا نشعر بالحصى في أقدامنا (السند الشخصي الزمني) ونرى نجماً في فضاء خارجي (السند الشخصي المكاني) .

إذا كانت فرضيتي صحيحة فإن التفسير الكمومي يظهر أقدر على حل مفارقة التأريخ المسبق الشخصي ويوحي أيضاً بضرورة خطوة أولى نحو نظرية كمومية تربط بين العقل والدماغ . والمستقبل وحده كفيل بكلمة الفصل في هذه الأمور .

ماذا يعني كل ذلك ؟

إن هاتين الفكرتين ، صورةَ العوالم المتوازية والتفسير الرجعاني لارتباط الحاضر بالمستقبل ، هما آخر وأمتع ماحُرر وأضيف إلى الفيزياء الكمومية . إنهما تحاولان معاً حل لغز الفيزياء الكمومية . وقد لا تكون أي منهما صحيحة . ولكن مهما كان مصيرهما فلن يكون عودة إلى الحتمية التي عناها أوائل المفسرين للنظرية الكمومية . إن كل فكرة منهما تفتح الباب على مصراعيه إلى إمكانية جديدة ، وربما كانتا مترابطتين . فإذا كان يوجد حقاً عوالم متوازية وكان المستقبل قادراً على فعل رجعاني نحو الحاضر ، تصبح الأمور معقولة .

لنعد مرة أخرى إلى مثال صديق فغنر . في العالم ١ ، عالم القطة حية ، يرسل الأستاذ نحو الخلف في الزمن موجة صدى يستلمها الصديق الذي يرسل بدوره نحو الخلف في الزمن موجة صدى أخرى إلى السماعة التي ترسل نحو الخلف في الزمن موجة صدى إلى القطة الحية . والآن كرر هذا القول في العالم 2 عالم القطة ميتة . إن كلاً من القطتين ، في عالمها ، ترسل نحو الخلف في الزمن إلى جهاز السيانيد موجة الصدى التي انطلقت منها الموجة المطلوقة . وبموجب التفسير الرجعاني لا تصل واقعياً سوى واحدة من الموجتين الصدى إلى جهاز السيانيد فتدفعه ، بحسب نوعية عالمها ، إلى إطلاق الغاز السام أو عدم إطلاقه . وبموجب العوالم المتوازية يستلم الجهاز الموجتين الصدى معاً .

إن التفسيرين معقولان إذا كانت الموجتان الصدى في عالمين متوازيين لا في عالم واحد فقط . فبهذه الطريقة لدينا سبب لظهور العوالم المتوازية ــ إنها مطلوبة لحصول اللوازم(القيود) الفيزيائية اللازمة لظهور أي عالم منها . وبدون هذه القيود تكون كل المضمومات الفيزيائية الممكنة ، من أبسطها إلى أغربها ، قابلة للظهور في عالم واحد . أما بهذه القيود فهناك عوالم متعددة : وفي كل منها تتجلى القوانين الملزمة بأنها تشكل ذلك العالم المعين . إن الذرة ، مثلاً ، تتطلب أن يوجد الإلكترون بشكل غمامة موجية . لكن إذا كان هناك قانون يقول بأنه لا يوجد سوى إلكترون واحد في ذرة مستقرة طاقياً ، فإن ذلك الإلكترون يجب أن يظهر كجسيم فرد في كل واحد من عوالم متوازية لا نهائية العدد ، لا كعدد لا نهائي من الجسيمات في عالم واحد .

إن هذه القيود تجلب الصحة والمعقولية إلى عالمنا . إنها قوانين الفيزياء ، كانحفاظ الطاقة والاندفاع (وجود فوتون واحد بدلاً من اثنين عندما تتطلب الطاقة أن يوجد واحد فقط) . عندئذ يمكن فعلاً أن ينسجم التفسير الرجعاني مع العوالم المتعددة . ومع أن النظرية تقول بإمكانية الاستغناء عنها إذا تأكد دوماً وجود موجة صدى واحدة لكل موجة مطلوقة فإن مثال الصورة الفوتغرافية لدى ألبرت وحاسوب دوتش

الكمومي يتطلبان أن تكون العوالم المتوازية موجودة حقاً . وإذا صح ذلك فإن مجموعة جديدة من الظواهر يمكن أن تُتوقع . وهذه الأفكار كلها تدل على أن المستقبل يمكن أن يكون أكثر أهمية بكثير مما كنا نحلم به ونحن نائمون في فراش ميكانيك نيوتن التقليدي .

محتويات الكتاب

قبل البداية : بعد ست سنوات ٨
مقدمة ١٣

القسم الأول : أهلاً بالآلة

الفصل الأول : الراصد الحيادي ٢٢
ــ فجر الوعي البشري ٢٤
ــ الكل واحد ، الكل تغيُّر ٢٥
ــ فكرة التقطع ٢٦
ــ زينون والأشياء المتحركة ٢٧
ــ مفارقة زينون الأولى ٢٨
ــ مفارقة زينون الثانية ٢٩
ــ مفارقة زينون الثالثة ٢٩
ــ محاولة أرسطو في حل مفارقات زينون ٣٠
ــ نظرة تاريخية : نهاية الحياد ٣٢

الفصل الثاني : الراصد النشيط ٣٤
ــ عمالقة نيوتن : عصر العقل ٣٨
ــ غاليليو : أول راصد نشيط ٤٠
ــ استمرارية الميكانيك ٤٢
ــ حديث مع إسحاق نيوتن ٤٣
ــ كابوس الحتمية ٤٥
ــ تفسير الضوء والحرارة ... بشيء مفقود ٤٨
ــ الأثير مفقود ٥٢
ــ كارثة فوق البنفسجي ٥٣
ــ نهاية العصر الميكانيكي ٥٦

القسم الثاني : عندما انبثق العالم

الفصل الثالث : الراصد المشوَّش ٥٨
ــ حركة العقول المعارضة ٥٩
ــ تحاشي كارثة حبوب الطاقة ٦١
ــ رمي حصيات في بحيرة كمومية ٦٣
ــ الطاقة ، الطاقة بتمامها ، أو لا شيء البتة ٦٤

ـــ بلانك المتحفظ ٦٦
ـــ أينشتاين يرسم صورة : مولد الفوتون ٦٦

الفصل الرابع : القفزات الكمومية ٧٠
ـــ لورد يطبخ فالوذج زبيب ذرّياً ٧١
ـــ ذرة بور الكمومية ٧٣

الفصل الخامس : عندما يكون الجسيم موجة ٨٠
ـــ أمير يخترع موجة ٨١
ـــ حبيبات أمواج أمريكية ٨٦
ـــ أمواج لا يمكن تصوّرها : شرودنغر ونهاية صور ٨٧

الفصل السادس : لم يشاهد الريح أحد ٩٤
ـــ الله يرمي حجر النرد : التفسير الاحتمالي ٩٥
ـــ مبدأ هايزنبرغ الاحتمالي : نهاية النماذج الميكانيكية ٩٨

الفصل السابع : مقاومة الارتياب ١٠٨

القسم الثالث : هل يوجد شيء « خارجي هناك » في الخارج هناك ؟

الفصل الثامن : متاهتا البيت الكوني ١١٨
ـــ فعل الخلق : الرصد ١١٩
ـــ مفارقة المكعب ١٢٢
ـــ المثنوية موجة / جسيم ومبدأ التتامية ١٢٤
ـــ اختيار الساحر ١٣١
ـــ حالة الراصد المتلاشي ١٣٥
ـــ مفارقة نيوكُمب ١٣٧
ـــ مبدأ التتامية : خلاصة القول ١٣٨

الفصل التاسع : حالة العالم المفقود ١٤٠
ـــ محامي الشيطان ١٤١
ـــ مفارقة أ . ب . ر ١٤١

الفصل العاشر : أسرع من فوتون مُسرِع ١٥٢
ـــ أشياء تتراطم في الليل ١٥٣
ـــ التملك والاندياح والبَمّ ١٥٧

الفصل الحادي عشر : كسر العالم غير المكسور ١٦٢
ـــ عندما يصبح الاثنان واحداً ١٦٣

ـــ أنا هذا العالم كله ١٦٧
ـــ هندسة التخيل : التمك ١٦٩
ـــ كل شيء أو لا شيء بتاتاً : كيف نجمع التمكات ١٧٠
ـــ مكانان في وقت واحد : تمكات متشابكة ١٧١
ـــ قطة شرودنغر في صندوق ١٧٣

الفصل الثاني عشر : أنا لا أُخفي شيئاً ١٧٦
ـــ البحث عن النظام الخفي ١٧٧
ـــ نظرية بيل : بيوت منفصلة ذات أساس مشترك ١٨٢
ـــ لقد عثرنا على المتغيرات الخفية : إنها نحن ! ١٨٧

القسم الرابع : حين نفقد عقولنا

الفصل الثالث عشر : الوعي والعوالم المتوازية ١٩٢
ـــ أي نوع من الآلة أنا ١٩٣
ـــ الغولم : آلة ذات وعي ١٩٣
ـــ عقل الأستاذ فغنر ١٩٥
ـــ مفارقة صديق فغنر ١٩٦
ـــ عدد لا نهائي من العوالم المتوازية ١٩٨

الفصل الرابع عشر : الإرادة البشرية والوعي البشري ٢٠٦
ـــ أغرب مما نستطيع أن نتخيل ٢٠٧
ـــ ميكانيك كمّ الوعي البشري ٢٠٨
ـــ تفاعل ميكانيكي كمومي بين العقل والجسد : نموذج باص ٢١٠
ـــ المهمة المستحيلة : ممارسة الإرادة البشرية ٢١٣
ـــ الذرّة و « أنا » : هل الذرّات واعية ؟ ٢١٧
ـــ الكل من أجل واحد وواحد من أجل الكل : أين يوجد عقلي ؟ ٢٢١
ـــ إرادة الله وإرادة البشر ٢٢٥

الفصل الخامس عشر : أفكار جديدة في الفيزياء الكمومية ٢٢٨
ـــ الفكرة رقم 1 : أخذ صورة عن عالم موازٍ آخر من عوالم إيفريت ٢٣١
ـــ استخدام حاسوب كمومي للتنبؤ برواج السوق ٢٣٤
ـــ الفكرة رقم 2 : المستقبل يؤثر في الحاضر ٢٣٥
ـــ مثال : اختيار ويلر ٢٣٧
ـــ عودة إلى المستقبل : إدراك قبل الإدراك ٢٣٨
ـــ ماذا يعني كل ذلك ؟ ٢٤٠
محتويات الكتاب ٢٤٣

مع القفزة الكمومية Taking the quantum leap / تأليف فريد آلان وولف ؛ ترجمة أدهم السمان . ـــ دمشق : دار طلاس ، ١٩٩٤ . ـــ ٢٤٤ص : مص ؛ ٢٤ سم .

كتاب يفلسف الفيزياء الجديدة لغير العلميين نال جائزة الكتاب الأمريكي . ـــ صدر بالتعاون مع المعهد العالي للعلوم التطبيقية .

١ ـــ ١ر٥٣٠وول م ٢ ـــ العنوان ٣ ـــ العنوان الموازي
٤ ـــ وولف ٥ ـــ السمان

مكتبة الأسد

رقم الإيداع ـــ ٤٧٧ / ٥ / ١٩٩٤ رقم الاصدار ٦٣٣

موافقة وزارة الاعلام
رقم : ٢٣٤٠٢
تاريخ : ١٩٩٤/٤/٢٦

هـذا الكتـاب

كتاب يهتم بالأسس الفلسفية لتطور الأفكار والقوانين في الفيزياء منذ عصور الاغريق القدماء مروراً باكتشافات غاليليو ونيوتن ووصولاً إلى ميكانيك الكم وتأويلاته، كما يراها كبار العلماء من أمثال بلانك وأينشتاين وبور وهايزنبرغ وبوم وسواهم، وعلاقة كل ذلك بمفهوم الحقيقة سواء في فلسفة الوجود أو في فلسفة المعرفة. وهذه النظرة الإنسانية للعلم تفتح طريقاً جديدة لفهم ميكانيك الكم وعلاقته بالخالق وبالإرادة البشرية وتقدم أساساً عميقاً لفهم طبيعة الحقيقة وعلاقتها بالعالم الكوني وبنا كمخلوقات بيولوجية ذكية.